

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE VETERINARIA**

**Departamento de Sanidad Animal**



**DESARROLLO DE UN ANÁLISIS DE RIESGO DE ENTRADA  
Y UN MODELO DE DIFUSIÓN POTENCIAL DEL VIRUS DE  
NEWCASTLE EN LA REPÚBLICA ARGENTINA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR**

Facundo José Linares

Bajo la dirección de los doctores

José Manuel Sánchez-Vizcaíno  
Beatriz Martínez López

**MADRID, 2013**



Universidad Complutense de Madrid  
Facultad de Veterinaria  
Departamento de Sanidad Animal

# **Desarrollo de un análisis de riesgo de entrada y un modelo de difusión potencial del virus de Newcastle en la República Argentina**

Memoria para optar al grado de Doctor presentado por

**Facundo José Linares**

Bajo la dirección de los Doctores:

**José Manuel Sánchez-Vizcaíno**

**Beatriz Martínez López**

Madrid, 2013



El Dr. **José Manuel Sánchez-Vizcaíno**, Doctor en Veterinaria y Catedrático en Sanidad Animal de la Universidad Complutense de Madrid y la Dra. **Beatriz Martínez López**, Doctora en Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid

CERTIFICAN:

Que la tesis doctoral titulada **”Desarrollo de un análisis de riesgo de entrada y un modelo de difusión potencial del virus de Newcastle en la República Argentina”** ha sido realizada por D. Facundo José Linares bajo nuestra dirección, y estimamos que reúne los requisitos necesarios para optar al título de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid.

Madrid, junio de 2013

Dr. José Manuel Sánchez-Vizcaíno Rodríguez

Dra. Beatriz Martínez López





## Agradecimientos

Por suerte hay mucha gente a la que quiero agradecer, que fueron muy importantes durante este largo camino de la tesis. Al primero que me gustaría agradecer es a José Manuel, mi director de tesis, por haberme abierto las puertas en su grupo de investigación prácticamente sin conocerme, por enseñarme el mundo de la investigación (algo que yo desconocía por completo), gracias por ser un excelente profesional pero sin duda mejor persona. A Bea, mi codirectora, por su apoyo desinteresado y por estar siempre dispuesta a ayudarme en todo momento, gracias por tenerme mucha paciencia, creo que sin ella este trabajo no hubiese sido posible. Espero haber aprendido de los dos aunque sea un poco de todo lo que me enseñaron.

A mis compañer@s del grupo SUAT con los que compartí muchas horas dentro y fuera de la facultad, a Chelo, Belén, Raquel, Lina, Marina, Almu, Víctor, Fer, Rocío, Ana, Debo, Mar, Marta, Guo y Adolfo (que es ya parte del grupo), algunos me ayudaron académicamente y otros moralmente a poder terminar esta tesis, pero todos me ayudaron y mucho!!, un doble agradecimiento para Rocío y Chelo que fueron las encargadas de hacerme todos los trámites de mi tesis, la verdad que me salvaron. Estoy completamente seguro que los voy a extrañar (aunque a veces me haga el duro) ya que empezaron siendo compañeros de trabajo y terminaron siendo amigos, espero volver a verlos en un futuro cercano. Están todos formalmente invitados a mi casa en Argentina.

A María Jesús por los buenos consejos siempre y por ser la primera en abrirme las puertas para que pueda hacer el doctorado en España y también agradecer a todo su equipo del Cisa que fueron los primeros en recibirme en mi primer viaje a España, allá por el 2007.

A mis amigas “españolas” Marijana y Lissette por haberme cuidado como un hijo (a pesar de ser yo más viejo que ellas), gracias por ser excelentes amigas, de esas amigas que son para toda la vida y a las que voy a extrañar muchísimo, pero sé que van a estar muy bien cuidadas por Roberto y Juan que son excelentes personas....a tod@s los demás amig@s del “mundo” que me hice en España a lo largo de estos años que por suerte son muchos como para nombrarlos a todos. A mis amig@s de Argentina con los que nuevamente voy a volver a compartir los asados que me perdí en estos años.....especialmente a mi gran amigo El Marce con quien no pude compartir de cerca su lucha por vivir, se que estarás en algún lado mandándome mucha fuerza y todos tus amigos te vamos a recordar siempre!

Al Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), en especial a la Dirección de Epidemiología, al Programa de aves y a la Dirección General de Campo por los datos aportados. A mis compañer@s del SENASA, en especial a Rodolfo Bottini y a mis amigas Natalia Aznar y Jaqui Bohl. A Jorge Miquet por toda su ayuda y su buena energía siempre.

El desarrollo de esta tesis ha sido posible gracias a la beca otorgada por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Por último quiero agradecer especialmente a mis padres, por los buenos consejos que me dieron siempre, que a pesar de la distancia me apoyaron en todo momento y me daban fuerzas para seguir adelante siempre tanto en los buenos como en los malos momentos (que fueron muy pocos), seguramente ellos estarán muy contentos con todo esto. A mi hermano Juan Martín, mis hermanas Soledad y Milagros, y a todos mis sobrin@s (Felipe, Francisco, María, Juani, Joaco, Manuel, Clara, Camille y Clemntine) a los que extrañe mucho a lo largo de mi estadía.

**A todos ustedes muchas gracias!!!**

*El que está acostumbrado a viajar, sabe que siempre es necesario partir algún día  
(Paulo Coelho)*

## Índice general

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>1</b>  |
| <b>I-1. ENFERMEDAD DE NEWCASTLE (ENC)</b>   | <b>1</b>  |
| <b>I-1.1. Agente etiológico</b>   | <b>1</b>  |
| • I-1.1.1. Supervivencia del virus de Newcastle   | 1         |
| ➤ I-1.1.1.a. Supervivencia en el ambiente   | 7         |
| ➤ I-1.1.1.b. Supervivencia en productos avícolas  | 7         |
| I-1.1.1.b.1. Carcasas   | 8         |
| I-1.1.1.b.2. Productos cárnicos   | 8         |
| I-1.1.1.b.3. Huevos y derivados   | 9         |
| ➤ I-1.1.1.c. Métodos de inactivación, resistencia a los agentes físico-químicos del VNC | 10        |
| <b>I-1.2. Especies susceptibles al virus de Newcastle (VNC)</b>                         | <b>11</b> |
| • I-1.2.1. Susceptibilidad del VNC en las aves domésticas                               | 11        |
| • I-1.2.2. Susceptibilidad del VNC en las aves exóticas y silvestres                    | 12        |
| • I-1.2.3. Susceptibilidad del VNC en humanos   | 13        |
| • I-1.2.4. Susceptibilidad en otras especies  | 14        |
| <b>I-1.3. Formas de transmisión</b>   | <b>14</b> |
| • I-1.3.1. Vías de entrada del VNC  | 15        |
| ➤ I-1.3.1.a. Comercio legal de aves domésticas  | 16        |
| ➤ I-1.3.1.b. Comercio legal de aves exóticas  | 17        |
| ➤ I-1.3.1.c. Comercio legal de productos avícolas                                       | 18        |
| ➤ I-1.3.1.d. Migración de aves silvestres   | 19        |
| ➤ I-1.3.1.e. Transmisión mecánica   | 20        |
| ➤ I-1.3.1.f. Vía aerógena   | 20        |
| ➤ I-1.3.1.g. Vacunas contaminadas   | 20        |

|   |     |
|---|-----|
| ➤ I-1.3.1.h. Acto bioterrorista   | 221 |
| ➤ I-1.3.1.i. Escape biológico   | 21  |
| ➤ I-1.3.1.j. Comercio ilegal de aves y subproductos   | 21  |
| • I-1.3.2. Vías de difusión del VNC   | 21  |
| ➤ I-1.3.2.a. Comercio de productos avícolas   | 22  |
| ➤ I-1.3.2.b. Movimientos de aves vivas  | 22  |
| ➤ I-1.3.2.c. Movimiento de aves silvestres  | 22  |
| ➤ I-1.3.2.d. Vía mecánica mediante la introducción de fómites, personas o animales contaminados                 | 22  |
| ➤ I-1.3.2.e. Vía aerógena   | 23  |
| <b>I-1.4. Período de incubación, signos clínicos, alteraciones patológicas, mortalidad y morbilidad del VNC</b> | 24  |
| • I-1.4.1. Periodo de incubación  | 24  |
| • I-1.4.2. Signos clínicos  | 24  |
| • I-1.4.3. Morbilidad y mortalidad del VNC  | 26  |
| <b>I-1.5. Diagnóstico</b>   | 228 |
| • I-1.5.1. Diagnostico clínico-patológico   | 28  |
| • I-1.5.2. Diagnostico diferencial  | 28  |
| • I-1.5.3. Diagnostico de laboratorio   | 28  |
| <b>I-1.6. Vacunación contra el VNC</b>  | 29  |
| <b>I-2. POBLACIÓN AVICOLA MUNDIAL E IMPORTANCIA DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA</b>                     | 31  |
| <b>I-2.1. Población avícola mundial</b>   | 31  |
| <b>I-2.2. Población avícola doméstica en la República Argentina</b>   | 34  |
| • I-2.2.1. Sistema de producción avícola de carne   | 39  |
| • I-2.2.2. Sistema de producción avícola de huevos  | 40  |
| • I-2.2.3. Otras producciones comerciales de aves   | 41  |

|  |    |
|--|----|
| • I-2.2.4. Aves de traspatio o de producción familiar  | 42 |
| • I-2.2.5. Plantas de faena  | 43 |
| <b>I-2.3. Exportaciones</b>  | 43 |
| <b>I-2.4. Importaciones</b>  | 48 |
| <b>I-2.5. Bioseguridad en las granjas avícolas en la Rep. Argentina</b>  | 49 |
| <b>I-3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENFERMEDAD DE NEWCASTLE EN EL MUNDO Y EN LA REP. ARGENTINA</b>      | 52 |
| <b>I-3.1. Antecedentes históricos y situación actual de la ENC en el mundo</b>   | 52 |
| <b>I-3.2. Antecedentes históricos y situación actual de la ENC en la Rep. Argentina y Sudamérica</b>                         | 55 |
| <b>I-4. PLANES DE VIGILANCIA Y CONTROL DE LA ENC EN LA REP. ARGENTINA</b>  | 59 |
| <b>I-4.1. Vigilancia pasiva (basada en la sintomatología clínica)</b>  | 59 |
| <b>I-4.2. Vigilancia activa</b>  | 60 |
| • I-4.2.1 Vigilancia activa en aves de producción familiar (aves de traspatio o aves de producción no industrial)            | 61 |
| • I-4.2.2. Vigilancia en plantas de faena de pollos de engorde   | 62 |
| • I-4.2.3. Monitoreo en ferias y exposiciones rurales  | 62 |
| • I-4.2.4. Monitoreo serológico en núcleos de reproducción   | 62 |
| <b>I-4.3. Control de la ENC en la Rep. Argentina</b>   | 63 |
| <b>I-4.4. Acciones ante una sospecha</b>   | 63 |
| <b>I-4.5. Procedimientos ante la confirmación del foco (brote)</b>   | 64 |
| <b>I-4.6. Vacunación contra el VNC en la Rep. Argentina</b>  | 66 |
| <b>I-5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE INTRODUCCIÓN, ANÁLISIS DE REDES SOCIALES Y MODELOS DE DIFUSIÓN DE ENFERMEDADES</b> | 67 |
| <b>I-5.1. Introducción a los modelos de análisis del riesgo de enfermedades y su aplicación en el sector veterinario</b>     | 67 |
| • I-5.1.1. Introducción  | 67 |
| • I-5.1.2. Tipos de evaluación de riesgo   | 67 |

|   |    |
|---|----|
| • I-5.1.3. Etapas del análisis de riesgo  | 69 |
| ➤ I-5.1.3.a. Identificación de peligro  | 69 |
| ➤ I-5.1.3.b. Evaluación de riesgo   | 69 |
| I-5.1.3.b.1. Evaluación de la liberación (probabilidad de ingreso del agente)                           | 70 |
| I-5.1.3.b.2. Evaluación de la exposición  | 70 |
| I-5.1.3.b.3. Evaluación de las consecuencias  | 72 |
| I-5.1.3.b.4. Estimación del riesgo  | 72 |
| ➤ I-5.1.3.c. Gestión del riesgo   | 73 |
| ➤ I-5.1.3.d. Comunicación del riesgo  | 73 |
| <b>I-5.2. Introducción al análisis de redes y su aplicación en el sector veterinario</b>                | 74 |
| <b>I-5.3. Introducción a los modelos de difusión de enfermedades animales</b>                           | 78 |
| • I.5.3.1. Definición y generalidades de los modelos  | 78 |
| • I.5.3.2. Modelos de difusión basados en redes sociales  | 79 |
| ➤ I.5.3.2.a. Modelos de difusión Susceptible-Infectado (SIS)  | 79 |
| ➤ I.5.3.2.b. Modelos de difusión Susceptible-Infectado-Removed (eliminado) o Recuperado (SIR)           | 79 |
| ➤ I.5.3.2.c. Modelos de difusión Susceptible-Expuesto-Infectado-Removed (eliminado) o Recuperado (SEIR) | 80 |
| ➤ I.5.3.2.d. Modelos de difusión Susceptible-Expuesto-Infectado-Susceptible (SEIS)                      | 80 |
| <b>II. JUSTIFICACIÓN</b>  | 85 |
| <b>III. OBJETIVOS</b>   | 89 |
| <b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>   | 93 |
| <b>IV-1. ANÁLISIS DEL RIESGO DE ENTRADA POTENCIAL DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA</b>                      | 93 |
| <b>IV-1.1. Descripción y justificación de las vías de entrada del VNC en la Rep. Argentina</b>          | 93 |
| <b>IV-1.2. Recopilación de la información para evaluar el riesgo de cada una de las vías de entrada</b> | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| • IV-1.2.1.Volumen de productos/ subproductos avícolas importados  | 94  |
| • IV-1.2.2.Volumen de aves vivas importadas  | 95  |
| • IV-1.2.3.Volumen de huevos fértiles importados   | 96  |
| • V-1.2.4. Incidencia del VNC en los países que exportan material de riesgo (productos/ subproductos avícolas, aves vivas y huevos fértiles) a la Rep. Argentina | 97  |
| • IV-1.2.5. Población de aves de los países que exportan material de riesgo (productos/ subproductos avícolas, aves vivas y huevos fértiles) a la Rep. Argentina | 97  |
| • IV-1.2.6 Recopilación de la información obtenida a partir de publicaciones científicas   | 97  |
| <b>IV-1.3. Análisis del riesgo: Método para evaluar el riesgo de las vías de entrada</b>   | 97  |
| • IV-1.3.1. Evaluación de la liberación  | 99  |
| ➤ IV-1.3.1.a. Volumen de productos/subproductos avícolas importados  | 103 |
| ➤ IV-1.3.1.b. Volumen de aves vivas importadas   | 105 |
| ➤ IV-1.3.1.c. Volumen de huevos fértiles importados  | 105 |
| • IV-1.3.2. Evaluación de la exposición  | 106 |
| • IV-1.3.3. La evaluación del riesgo total   | 108 |
| • IV-1.3.4. Representación de los resultados   | 108 |
| <b>IV-2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PATRONES DE CONTACTOS DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA</b>  | 109 |
| <b>IV-2.1. Estudio descriptivo preliminar de las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina</b>   | 109 |
| <b>IV-2.2. Descripción espacio-temporal y análisis de los patrones de movimientos de aves vivas en la Rep. Argentina durante el año 2009 y 2010</b>              | 110 |
| <b>IV-3. MODELO DE DIFUSIÓN DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA</b>   | 113 |
| <b>IV-3.1. Recopilación de la información obtenida para el desarrollo del modelo de difusión del VNC en la Rep. Argentina</b>                                    | 113 |
| <b>IV-3.2. Supuestos y parámetros empleados en el modelo de difusión</b>   | 113 |
| <b>V. RESULTADOS</b>   | 121 |
| <b>V-1. ANÁLISIS DEL RIESGO DE ENTRADA POTENCIAL DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA</b>  | 121 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>V-1.1. Evaluación del riesgo de liberación</b>  | 121 |
| • V-1.1.1. Evaluación de la liberación de productos/subproductos avícolas importados   | 121 |
| • V-1.1.2. Evaluación de la liberación de aves vivas importadas  | 132 |
| • V-1.1.3. Evaluación de la liberación de huevos fértiles importados   | 142 |
| <b>V-1.2. Evaluación del riesgo de exposición</b>  | 145 |
| • V-1.2.1. Evaluación del riesgo de exposición de productos/subproductos avícolas importados   | 146 |
| • V-1.2.2. Evaluación del riesgo de exposición de aves vivas importadas  | 146 |
| • V-1.2.3. Evaluación del riesgo de exposición de huevos fértiles importados   | 146 |
| <b>V-1.3. Evaluación del riesgo total</b>  | 146 |
| <b>V-2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PATRONES DE CONTACTOS DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA</b>                                       | 148 |
| <b>V-2.1. Estudio descriptivo preliminar de las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina</b>  | 148 |
| <b>V-2.2. Descripción espacio-temporal y análisis de los patrones de movimientos de aves vivas en la Rep. Argentina durante el año 2009 y 2010</b> | 149 |
| • V-2.2.1. Descripción de la red de movimientos de aves vivas y medidas de centralidad   | 149 |
| • V-2.2.2. Análisis temporal de los movimientos 2009 y 2010  | 156 |
| • V-2.2.3. Análisis comparativo de los movimientos de las granjas en el 2009 y 2010  | 158 |
| • V-2.2.4. Análisis espacial de los movimientos  | 162 |
| • V-2.2.5. Análisis de los movimientos de las granjas comerciales por tipo de producción   | 168 |
| • V-2.2.6. Análisis de los movimientos de las granjas comerciales por tipo de bioseguridad   | 173 |
| <b>V-3. MODELO DE DIFUSIÓN DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA</b>  | 176 |
| <b>V-3.1. Análisis de los contactos durante la simulación de una epidemia</b>  | 176 |
| <b>V-3.2. Análisis temporal de los contactos durante la simulación de una epidemia</b>   | 187 |
| <b>V-3.3. Tamaño de una epidemia obtenido mediante el modelo SIR</b>   | 193 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>VI. DISCUSIÓN</b>  | 201 |
| <b>VI-1. DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS DEL RIESGO DE ENTRADA POTENCIAL DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA</b>                              | 203 |
| <b>VI-1.1. Volumen de productos/subproductos avícolas importados</b>  | 207 |
| <b>VI-1.2. Volumen de aves vivas importadas</b>   | 208 |
| <b>VI-1.3. Volumen de huevos fértiles importados</b>  | 210 |
| <b>VI-2. DISCUSIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PATRONES DE CONTACTOS DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA</b> | 212 |
| <b>VI-3. DISCUSIÓN DEL MODELO DE DIFUSIÓN DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA</b>  | 217 |
| <b>VII. CONCLUSIONES</b>  | 225 |
| <b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b>   | 229 |
| <b>IX. ANEXOS</b>   | 263 |

**Índice de tablas**

|  |    |
|--|----|
| <b>Introducción</b>  |    |
| <b>Tabla 1.</b> Clasificación serológica de los distintos tipos de paramixovirus aviares. Fuente: Miller, 2010.  | 4  |
| <b>Tabla 2.</b> Tiempo de inactivación del VNC en productos derivados del huevo. Elaboración propia.   | 10 |
| <b>Tabla 3.</b> Especies de aves más importantes para la transmisión del VNC en el comercio de aves exóticas. Tabla adaptada con datos de la EFSA 2006.                                  | 17 |
| <b>Tabla 4.</b> Diferentes patotipos del VNC, signos clínicos predominantes y principales lesiones. Fuente: Tabla adaptada de Flensburg, 2001.   | 26 |
| <b>Tabla 5.</b> Vacunas vivas de NC utilizadas. Fuente: Lalita Rani Barman, ( <a href="http://www.smallstock.info/index.htm">http://www.smallstock.info/index.htm</a> ).                 | 30 |
| <b>Tabla 6.</b> Principales países productores de carne aviar, en millones de toneladas. Fuente: Lamelas, 2010.  | 32 |
| <b>Tabla 7.</b> Principales países consumidores de carne aviar, en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de El mercado de la carne aviar en los países del CAS, 2010. | 32 |
| <b>Tabla 8.</b> Principales países importadores, en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de El mercado de la carne aviar en los países del CAS, 2010.                | 33 |
| <b>Tabla 9.</b> Exportación mundial en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de El mercado de la carne aviar en los países del CAS, 2010.                             | 33 |
| <b>Tabla 10.</b> Principales países productores de gallinas (1.000 cabezas) y principales productores de huevos (1.000 toneladas). Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO, 2009. | 34 |
| <b>Tabla 11.</b> Consumo per cápita de carne aviar en la Rep. Argentina. Año 2009-2010. Fuente: Lamelas, 2010.   | 36 |
| <b>Tabla 12.</b> Número total de establecimientos avícolas comerciales por provincia, 2010. Fuente: IICA-Senasa, 2010.   | 36 |
| <b>Tabla 13.</b> Datos de cantidad de aves y densidad por provincia en la Rep. Argentina, años 2009-2010-2011. Elaboración propia con datos del WAHID (OIE, 2012c).                      | 37 |
| <b>Tabla 14.</b> Producción y consumo aparente de huevos en la Rep. Argentina. Años 2004-2008. Fuente: Cámara Argentina de Productores Avícolas.   | 40 |
| <b>Tabla 15.</b> Cantidad estimada de patos, gansos, faisanes y pavos en la Rep. Argentina, en miles de cabezas desde el año 2000 al 2009. Fuente: FAOSTAT, 2012.                        | 42 |
| <b>Tabla 16.</b> Cantidad de plantas de faena por provincia en la Rep. Argentina, año 2009 y 2010. Fuente: Lamelas, 2010.  | 43 |
| <b>Tabla 17.</b> Exportaciones de productos avícolas por mes durante el 2009 y 2010. Fuente: Adaptada con datos de Lamelas, 2010.  | 44 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 18.</b> Destino de las exportaciones en toneladas por mes durante el año 2010. Elaboración propia con datos de Lamelas, 2010.  | 45  |
| <b>Tabla 19.</b> Relación exportación/producción de carne aviar en porcentaje durante el 2009 y 2010. Fuente: Adaptada con datos de Lamelas, 2010.  | 45  |
| <b>Tabla 20.</b> Importaciones de aves vivas durante el 2009 y 2010. Fuente: Lamelas, 2010.   | 48  |
| <b>Tabla 21.</b> Importaciones de productos avícolas durante el 2009 y 2010. Fuente: Adaptada con datos de Lamelas, 2010.   | 49  |
| <b>Tabla 22.</b> Relación exportación/producción de carne aviar en porcentaje durante el 2009 y 2010. Adaptada con datos de Lamelas, 2010.  | 49  |
| <b>Tabla 23.</b> Clasificación según el nivel de bioseguridad de las granjas avícolas en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del SENASA (Marzo, 2011).                              | 50  |
| <b>Tabla 24.</b> Situación del VNC en los países limítrofes de la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (OIE, 2012c).  | 58  |
| <b>Tabla 25.</b> Datos de vacunaciones del VNC en la Rep. Argentina. Años 2005 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (OIE, 2012c).  | 66  |
| <b>Materiales y métodos</b>   |     |
| <b>Tabla 26.</b> Interpretación de las categorías de riesgo utilizadas en la evaluación cualitativa del riesgo de liberación. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.                                   | 101 |
| <b>Tabla 27.</b> Interpretación de las categorías para expresar la incertidumbre asociados a los riesgos estimados en la liberación. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.                            | 103 |
| <b>Tabla 28.</b> Clasificación según la supervivencia del VNC en los productos y subproductos avícolas. Fuente: Elaboración propia.   | 104 |
| <b>Tabla 29.</b> Clasificación según la supervivencia e importancia epidemiológica del VNC en los diferentes grupos de aves. Fuente: Elaboración propia.  | 105 |
| <b>Tabla 30.</b> Interpretación de las categorías de riesgo utilizadas en la evaluación cualitativa del riesgo de exposición. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.                                   | 107 |
| <b>Tabla 31.</b> Interpretación de las categorías para expresar la incertidumbre asociados a los riesgos estimados en la exposición. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.                            | 108 |
| <b>Tabla 32.</b> Parámetros utilizados en el modelo de simulación y su significado.   | 114 |
| <b>Resultados</b>   |     |
| <b>Tabla 33.</b> Países exportadores de productos y subproductos avícolas a la Rep. Argentina, por producto y cantidad, datos desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos Senasa, 2011. | 123 |
| <b>Tabla 34.</b> Resumen del riesgo de liberación, riesgo de exposición, riesgo total e incertidumbre. Fuente: Elaboración propia.  | 147 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 35.</b> Cantidad de nodos por provincia del año 2009 y el 2010.Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los movimientos de aves comerciales entre granjas, Senasa 2009-2010.  | 152 |
| <b>Tabla 36.</b> Análisis de la red de contactos de la Rep. Argentina, año 2009 y 2010. Descripción de las medidas del tamaño de la red y las medidas de centralidad. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos mediante el lenguaje R (R.2.10.1). | 153 |
| <b>Tabla 37.</b> Porcentaje de granjas que realizan movimientos de envíos (mismo origen) durante los mismos meses del 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia.  | 159 |
| <b>Tabla 38.</b> Porcentaje de granjas que reciben movimientos (mismo destino) en el mismo mes del 2009 y del 2010. Fuente: Elaboración propia.   | 159 |
| <b>Tabla 39.</b> Porcentaje de granjas que realizan los mismos movimientos (mismo origen, mismo destino y mismo mes) durante el 2009 con respecto al 2010. Fuente: Elaboración propia.  | 160 |
| <b>Tabla 40.</b> Porcentaje de granjas por tipo de producción que realizan movimientos de envío tanto en el 2009 como en el 2010. Fuente: Elaboración propia.   | 161 |
| <b>Tabla 41.</b> Porcentaje de granjas por tipo de producción que reciben movimientos durante el 2009 y en el 2010. Fuente: Elaboración propia.   | 161 |
| <b>Tabla 42.</b> Resultados de las tres simulaciones realizadas en cada una de los 14 escenarios seleccionados. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático R (R.2.15.1) y la librería EpiContactTrace.                                 | 176 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Introducción</b>   |    |
| <b>Figura 1.</b> Representación esquemática de la estructura del virus de Newcastle. Fuente: Adaptado de Grimes, 2002.  | 5  |
| <b>Figura 2.</b> Esquema con las principales vías de entrada del VNC. Fuente: Elaboración propia.   | 16 |
| <b>Figura 3.</b> Evolución de la producción de carne aviar en la Rep. Argentina durante desde el año 2000 al 2010, en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de Lamelas, 2010.  | 35 |
| <b>Figura 4.</b> Cantidad de aves por provincia en la Rep. Argentina, año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE/WHID (OIE, 2012c) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 38 |
| <b>Figura 5.</b> Distribución de granjas avícolas de (a) producción de carne, y (b) producción de huevos. Fuente: Adaptado de <a href="http://www.senasa.gov.ar">www.senasa.gov.ar</a> , último acceso mayo 2012.   | 41 |
| <b>Figura 6.</b> Volumen de las exportaciones avícolas en la Rep. Argentina. Años 2008 a junio del 2010, en miles de toneladas. Fuente: Boletín avícola, 2010.  | 43 |
| <b>Figura 7.</b> Participación de las exportaciones avícolas sobre la producción (%), desde el año 1994 al 2010. Fuente: Adaptada de Lamelas, 2010.   | 46 |
| <b>Figura 8.</b> Volumen, destino y composición de las exportaciones argentinas de carne de pollo y subproductos derivados (1994-2009). Fuente: IICA-Senasa, 2010.  | 47 |
| <b>Figura 9.</b> Exportaciones argentinas de huevo en cáscara e industrializado (equivalente cáscara) entre 1994 y 2009. Fuente: IICA-Senasa, 2010.   | 47 |
| <b>Figura 10.</b> Distribución de las granjas avícolas categorizadas según su bioseguridad (a=Bioseguridad A, b= Bioseguridad B y c= Bioseguridad C). Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa 2011 mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 51 |
| <b>Figura 11.</b> Mapa con la distribución de la ENC en aves domésticas en el mundo en el 2011. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (WHID/OIE, informe del primer semestre 2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).               | 52 |
| <b>Figura 12.</b> Mapa con la distribución de la ENC en el mundo, brotes de aves domésticas y aves silvestres, desde enero 2005 a septiembre 2012. Fuente: WHID/OIE (OIE, 2012c).   | 53 |
| <b>Figura 13.</b> Mapa con la localización de los últimos dos brotes del VNC en la Rep. Argentina en el año 1987. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 57 |
| <b>Figura 14.</b> Representación de la situación del VNC en los países limítrofes de la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (OIE, 2012c) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                                       | 58 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 15.</b> Zona fronteriza de vigilancia activa en aves de producción familiar (aves de traspatio o aves de producción no industrial). Fuente: Programa de Vigilancia Epidemiológica para la Enfermedad de Newcastle y la Influenza Aviar en aves domésticas, Senasa 2011.          | 61  |
| <b>Figura 16.</b> Componentes del análisis de riesgo. Fuente: OIE, 2010b.  | 69  |
| <b>Figura 17.</b> Representación grafica de una red compuesta por cuatro vértices (Granja A, Granja B, Granja C y Granja D) y dos contactos (Granja A con Granja B y Granja A con Granja B). Fuente: Elaboración propia.   | 77  |
| <b>Figura 18.</b> Representación de los diferentes tipos de modelos de transición de estados ( $\beta$ = tasa de transmisión, $\gamma$ = fracción de recuperados de la infección o que son eliminados, $e$ = fracción de expuestos que se vuelven infecciosos). Fuente: Elaboración propia | 81  |
| <b>Materiales y métodos</b>  |     |
| <b>Figura 19.</b> Esquema de las vías seleccionadas para el análisis del riesgo de entrada del VNC en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia.   | 93  |
| <b>Figura 20.</b> Esquema de la información recopilada e incorporada a la base de datos propia para el análisis del riesgo de entrada del VNC en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia.  | 94  |
| <b>Figura 21.</b> Esquema de la tabla de datos creada de los registros de los movimientos de aves comerciales entre granjas.   | 101 |
| <b>Figura 22.</b> Esquema de los estados posibles en los que puede estar cada granja y la transición entre los mismos.   | 113 |
| <b>Figura 23.</b> Localización de las granjas primoinfectadas (casos índices) para el modelo de simulación del VNC en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 115 |
| <b>Figura 24.</b> Esquema del código creado en lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace.   | 117 |
| <b>Resultados</b>  |     |
| <b>Figura 25.</b> Productos y subproductos avícolas exportados a la Rep. Argentina, en kilogramos. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa desde el 2001 al 2010.  | 122 |
| <b>Figura 26.</b> Volumen de productos y subproductos avícolas exportados a la Rep. Argentina, por país de origen. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa, 2011.  | 122 |
| <b>Figura 27.</b> Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de carnes procesadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 124 |
| <b>Figura 28.</b> Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de carnes frescas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 125 |
|  |     |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 29.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de productos/subproductos avícolas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 126 |
| <b>Figura 30.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de carnes frescas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                    | 126 |
| <b>Figura 31.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por las importaciones de carnes procesadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).             | 127 |
| <b>Figura 32.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de vísceras. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                          | 128 |
| <b>Figura 33.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de harinas animales. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                  | 128 |
| <b>Figura 34.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de huevos y derivados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                | 129 |
| <b>Figura 35.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de otros subproductos comestibles. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).    | 129 |
| <b>Figura 36.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de plumas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                            | 130 |
| <b>Figura 37.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de opoterápicos. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                      | 130 |
| <b>Figura 38.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de fiambres y chacinados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).             | 131 |
| <b>Figura 39.</b> Exportaciones de palomas a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.   | 132 |
| <b>Figura 40.</b> Exportaciones de aves ornamentales a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.   | 133 |
| <b>Figura 41.</b> Exportaciones de psitácidas a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.  | 133 |
|   |     |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 42.</b> Exportaciones de pollos a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.   | 134 |
| <b>Figura 43.</b> Exportaciones de patos/pavos a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.   | 134 |
| <b>Figura 44.</b> Países exportadores de aves vivas (psitácidas, pollos, palomas, aves ornamentales y pavos/patos) a la Rep. Argentina por país de origen, datos desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 135 |
| <b>Figura 45.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de aves vivas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 136 |
| <b>Figura 46.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de palomas importadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 137 |
| <b>Figura 47.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de psitácidas importadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 137 |
| <b>Figura 48.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de patos/pavos importados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 138 |
| <b>Figura 49.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de aves ornamentales importadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 138 |
| <b>Figura 50.</b> Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de pollos importados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 139 |
| <b>Figura 51.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por palomas a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 139 |
| <b>Figura 52.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por aves ornamentales la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 140 |
| <b>Figura 53.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por pollos a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 140 |
|  |     |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 54.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por psitácidas a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                      | 141 |
| <b>Figura 55.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por patos/pavos a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                     | 141 |
| <b>Figura 56.</b> Importaciones de huevos fértiles a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos Senasa, 2011.  | 142 |
| <b>Figura 57.</b> Volumen de huevos fértiles importados en la Rep. Argentina por país de origen desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos Senasa, 2011 mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 143 |
| <b>Figura 58.</b> Nivel de riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de huevos fértiles. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                  | 144 |
| <b>Figura 59.</b> Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de huevos fértiles importados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                     | 144 |
| <b>Figura 60.</b> Nivel de riesgo relativo de liberación por huevos fértiles la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                   | 145 |
| <b>Figura 61.</b> Distribución espacial de las granjas comerciales de aves en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).                  | 148 |
| <b>Figura 62.</b> Red de movimientos en la Rep. Argentina de aves entre granjas durante el año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el programa informático Arc View 3.2.                           | 150 |
| <b>Figura 63.</b> Red de movimientos en la Rep. Argentina de aves entre granjas durante el año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el programa informático Arc View 3.2.                           | 151 |
| <b>Figura 64.</b> Diagrama de dispersión del out-degree e in-degree de las granjas, año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).  | 154 |
| <b>Figura 65.</b> Diagrama de dispersión del out-degree e in-degree de las granjas, año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).  | 154 |
| <b>Figura 66.</b> Frecuencia de los movimientos de entrada y salida (degree) durante el año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2009.  | 155 |
| <b>Figura 67.</b> Frecuencia de los movimientos de entrada y salida (degree) durante el año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2010.  | 155 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 68.</b> Cantidad de movimientos (entradas y salidas) de aves vivas entre granjas por mes, año 2009-2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2009-2010.  | 156 |
| <b>Figura 69.</b> Cantidad media de aves movilizadas por movimiento, por mes, año 2009-2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2009-2010.  | 157 |
| <b>Figura 70.</b> Cantidad de aves vivas movilizadas entre granjas por mes, año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).  | 157 |
| <b>Figura 71.</b> Cantidad de aves vivas movilizadas entre granjas por mes, año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).  | 158 |
| <b>Figura 72.</b> Distribución de los movimientos (Km) de aves vivas entre granjas en Argentina durante el 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010).   | 162 |
| <b>Figura 73.</b> Subred de movimientos en la Rep. Argentina de los diez nodos con mayores in-degree durante el año 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático Arc View 3.2.  | 164 |
| <b>Figura 74.</b> Subred de movimientos en la Rep. Argentina de los diez nodos con mayores out-degree durante el año 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático Arc View 3.2.   | 164 |
| <b>Figura 75.</b> Entrada (in-degree) y salida (out-degree) del total de la red de movimientos en la Rep. Argentina durante el año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009).   | 165 |
| <b>Figura 76.</b> Entrada (in-degree) y salida (out-degree) del total de la red de movimientos en la Rep. Argentina durante el año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010).   | 165 |
| <b>Figura 77.</b> Mapa de in-degree 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 166 |
| <b>Figura 78.</b> Mapa de out-degree 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 167 |
| <b>Figura 79.</b> Mapa de in-closeness 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).  | 167 |
| <b>Figura 80.</b> Mapa de out-closeness 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).   | 168 |
| <b>Figura 81.</b> Valores de in-degree, out-degree, in-closeness y out-closeness por tipo de producción de las granjas de la Rep. Argentina, año 2009 (1.otras producciones, 2.aves traspatio, 3.plantas de incubación, 4.producción de carne, 5.producción de carne y huevos, 6.producción de huevos, 7.reproductores, 8.sin determinar). Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el lenguaje R (R.2.10.1). Fuente: Elaboración propia. | 169 |



|   |         |
|---|---------|
| <b>Figura 82.</b> Valores de in-degree, out-degree, in-closeness y out-closeness por tipo de producción de las granjas de la Rep. Argentina, año 2010 ( <i>1.otras producciones, 2.aves traspatio, 3.plantas de incubación, 4.producción de carne, 5.producción de carne y huevos, 6.producción de huevos, 7.reproductores, 8.sin determinar</i> ). Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).   | 170     |
| <b>Figura 83.</b> Cantidad de movimientos de entrada y de salida del total de la red de Buenos Aires durante el año 2009 y 2010 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.   | 171     |
| <b>Figura 84.</b> Cantidad de movimientos de entrada y salida del total de la red de movimientos de Entre Ríos durante el 2009 y 2010 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.   | 172     |
| <b>Figura 85.</b> In-closeness y out-closeness del total de la red de movimientos de Buenos Aires y Entre Ríos durante el 2009 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.  | 172     |
| <b>Figura 86.</b> In-closeness y out-closeness del total de la red de movimientos de Buenos Aires y Entre Ríos durante el 2010 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.  | 173     |
| <b>Figura 87.</b> Cantidad de movimientos de entrada y salida por tipo de bioseguridad de las granjas en la provincia de Buenos Aires, año 2009 y 2010. Granjas con nivel de Bioseguridad A, B, C y S/D (sin categorizar). Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010).   | 174     |
| <b>Figura 88.</b> Cantidad de movimientos de entrada y salida por tipo de bioseguridad de las granjas en la provincia de Entre Ríos, año 2009 y 2010. Granjas con nivel de Bioseguridad A, B, C y S/D (sin categorizar). Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010).   | 175     |
| <b>Figura 89.</b> Escenario N° 1. Cantidad de nodos y animales primarios y secundarios durante la simulación de una epidemia de 12 semanas de duración comenzando en la semana 36 del año 2010. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático R (R.2.15.1).   | 178     |
| <b>Figura 90.</b> Escenario N° 2. Cantidad de nodos y animales primarios y secundarios durante la simulación de una epidemia de 12 semanas de duración comenzando en la semana 36 del año 2010. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático R (R.2.15.1).   | 179-180 |
| <b>Figura 91.</b> Escenario N° 1. Representación esquemática de la simulación una epidemia de 16 días de duración comenzando en el mes de abril (a), junio (b) y octubre(c). Se indican la cantidad de contactos primarios y secundarios de animales y granjas. El círculo rojo representa el caso índice y los círculos grises a los contactos. Fuente: Elaboración propia mediante el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace y el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 181-182 |
| <b>Figura 92.</b> Escenario N° 2. Representación esquemática de la simulación una epidemia de 16 días de duración comenzando en el mes de abril (a), junio (b) y octubre(c). Se indican la cantidad de contactos primarios y secundarios de animales y granjas. El círculo rojo representa el caso índice y los círculos grises a los contactos. Fuente: Elaboración propia mediante el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace y el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 183-184 |

|   |         |
|---|---------|
| <b>Figura 93.</b> Escenario N° 3. Representación esquemática de la simulación una epidemia de 16 días de duración comenzando en el mes de abril (a), junio (b) y octubre(c). Se indican la cantidad de contactos primarios y secundarios de animales y granjas. El círculo rojo representa el caso índice y los círculos grises a los contactos. Fuente: Elaboración propia mediante el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace y el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI). | 185-186 |
| <b>Figura 94.</b> Escenario N° 1. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de abril. Elaboración propia.  | 187     |
| <b>Figura 95.</b> Escenario N° 1. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de junio. Elaboración propia.  | 187     |
| <b>Figura 96.</b> Escenario N° 1. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de octubre. Elaboración propia.  | 188     |
| <b>Figura 97.</b> Escenario N° 2. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de abril. Elaboración propia.  | 188     |
| <b>Figura 98.</b> Escenario N° 2. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de junio. Elaboración propia.  | 189     |
| <b>Figura 99.</b> Escenario N° 2. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de octubre. Elaboración propia.  | 189     |
| <b>Figura 100.</b> Escenario N° 1. Cantidad de explotaciones afectadas acumuladas, en días, durante una epidemia en los diferentes meses. Fuente: Elaboración propia.   | 190     |
| <b>Figura 101.</b> Escenario N° 2. Cantidad de explotaciones afectadas acumuladas primarias y secundarias, en días, durante una epidemia en los diferentes meses. Fuente: Elaboración propia.   | 191-192 |
| <b>Figura 102.</b> Ejemplo de los resultados obtenidos de una epidemia del VNC en una granja mediante el modelo de simulación SIR. Cantidad de infectados, susceptibles y eliminados.   | 193     |

## Abreviaturas

| Abreviatura | Nombre completo   |
|-------------|---|
| APMV-1      | Paramixovirus aviar tipo uno                                    |
| ARS         | Análisis de redes sociales                                      |
| CGS         | Coordinación General de Campo                                   |
| DI          | In-degree   |
| DO          | Out-degree  |
| EEUU        | Estados Unidos de América                                       |
| EFSA        | European Food Safety Authority                                  |
| ENC         | Enfermedad de Newcastle   |
| F           | Fusión  |
| FAO         | Food and Agriculture Organization of the United Nations         |
| HN          | Hemoaglutinina-neuraminidasa                                    |
| IAAP        | Influenza aviar de alta patogenicidad                           |
| IABP        | Influenza aviar de baja patogenicidad                           |
| IPIC        | Índice de patogenicidad intracerebral                           |
| L           | RNA polimerasa  |
| M           | Matriz  |
| NP          | Nucleoproteína  |
| OIE         | Organización Mundial de Sanidad Animal                          |
| OMC         | Organización Mundial de Comercio                                |
| P           | Fosfoproteína   |
| SEIR        | Susceptible-Expuesto-Infectado-Removed (eliminado) o Recuperado |
| SEIS        | Susceptible-Expuesto-Infectado-Susceptible                      |
| SENASA      | Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria          |
| SGS         | Sistema de gestión sanitaria                                    |
| SIR         | Susceptible-Infectado-Removed (eliminado) o Recuperado          |
| SIS         | Susceptible-Infectado   |
| UE          | Unión Europea   |
| VNC         | Virus de Newcastle  |
| WAHID       | World Animal Health Information Database                        |



## Resumen

El objetivo general de esta tesis consiste en evaluar y cuantificar el riesgo y las consecuencias de una potencial entrada y difusión de la enfermedad de Newcastle (ENC) en la República Argentina, para esto, se ha desarrollado de un modelo de análisis de riesgo semi-cuantitativo y un modelo de difusión determinístico. Además, se realizó una caracterización y análisis de los patrones de movimientos entre las granjas avícolas comerciales usando la metodología del análisis de redes sociales y algoritmos de la teoría de grafos.

La Rep. Argentina cuenta actualmente con una avicultura muy desarrollada, constituye en una industria de gran importancia económica para el país, siendo la segunda industria de producción de animales vivos después del ganado bovino. Actualmente el país es el 7º productor y 5º exportador mundial de productos avícolas. Por esta razón, la introducción y difusión potencial de enfermedades infecciosas que afectan a la avicultura, como la ENC, podrían producir importantes consecuencias socio-económicas y sanitarias en el país. La ENC es considerada en todo el mundo como una de las enfermedades más importantes que afectan al sector avícola debido a la alta mortalidad que puede producir y a las repercusiones socio-económicas que derivan de las restricciones de comercio en los países afectados. Debido a su importancia y por ser una enfermedad altamente contagiosa, está incluida dentro de la lista de enfermedades de declaración obligatoria por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) siendo endémica en muchos países de América, Medio Oriente, África y Asia. Actualmente la Rep. Argentina es un país considerado libre de ENC por la OIE desde julio de 1997.

Para evaluar y cuantificar el riesgo y las consecuencias de una potencial entrada de la ENC se ha desarrollado un modelo de análisis de riesgo semi-cuantitativo siguiendo las directrices recomendadas por la OIE. Actualmente, no se ha encontrado en la bibliografía ningún modelo de análisis de riesgo adaptado a las características de la Rep. Argentina que permita estimar el riesgo de introducción del virus de Newcastle (VNC). Las vías de entrada que fueron analizadas para evaluar el riesgo de entrada potencial del VNC en la Rep. Argentina fueron las vías más importantes y aquellas con que se contó con la información suficiente para ser evaluadas. Concretamente las vías seleccionadas para su análisis fueron la importación de aves vivas, de productos y subproductos avícolas y de huevos fértiles. Para la realización de dicho análisis se recopiló información tanto de bases de datos nacionales (ej. volumen de aves, huevos fértiles, productos y subproductos avícolas importados registrados desde el año 2001 al 2010) e internacionales y de



publicaciones científicas. Las etapas evaluadas en este estudio se centraron concretamente en la identificación del peligro y la evaluación del riesgo (que comprendió a su vez a la evaluación de la liberación, exposición y la estimación del riesgo total). Los resultados del análisis de riesgo semi-cuantitativo indicaron que el riesgo relativo total asociado a la importación de palomas y pollos resultó alto, los países que representan un mayor riesgo relativo de liberación asociado a palomas fue Estados Unidos, y para pollos fueron Estados Unidos y Brasil. Los patos, pavos y las psitácidas tuvieron un riesgo relativo total medio. El riesgo relativo total de entrada para todos los productos/subproductos fue bajo o insignificante. Igualmente, el riesgo relativo total para las aves ornamentales fue insignificante, aunque la incertidumbre asociada a este grupo de aves fue alta. El riesgo relativo total de entrada del VNC asociado a huevos fértiles fue bajo. El país que representa un mayor riesgo relativo de liberación del virus hacia la Rep. Argentina cuando se realizó un análisis de las aves vivas es su conjunto fue Estados Unidos.

Para describir el patrón espacio-temporal de los movimientos de aves de granja a granja, se realizó un análisis exploratorio del total de los movimientos registrados en la Rep. Argentina durante los años 2009 y 2010 usando la metodología del análisis de redes. También, se realizó un análisis descriptivo exhaustivo de la tipología y características de las granjas avícolas ubicadas en la Rep. Argentina con los registros del año 2011. Los principales resultados obtenidos a partir de estos análisis indicaron que no existe una variación temporal de los movimientos de aves comerciales entre granjas, y que la distancia media recorrida de los movimientos fue de 210 km en el 2009 y 198 km en el 2010. Las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos concentran alrededor del 70% de los movimientos del país tanto para el 2009 como para el 2010. Para el año 2009 y 2010 los mayores valores de in-degree se producen en las granjas de producción de carne y los mayores valores de out-degree en las plantas de incubación.

Además, se realizó por primera vez, un modelo de difusión determinístico SIR basado en la red real de contactos entre explotaciones comerciales de la Rep. Argentina para cuantificar la difusión potencial del VNC durante el periodo de alto riesgo. El modelo desarrollado permitió evaluar la evolución potencial de una epidemia de VNC en la Rep. Argentina, así como, identificar las zonas de mayor riesgo y cuantificar las posibles consecuencias sanitarias en la Rep. Argentina. También, se ha incorporado a este modelo, la difusión de la enfermedad dentro de la granja, pudiendo así calcular la probabilidad de que un ave movilizada estuviese infectada en función de la situación sanitaria de la granja y modulando de forma más realista la magnitud potencial de la epidemia. Para evaluar las

consecuencias sanitarias que una incursión del VNC tendría en la Rep. Argentina se han evaluado diversos escenarios. Concretamente, se realizaron simulaciones de una epidemia cuyos brotes primarios (casos índices) correspondieron a distintos tipos de producción de aves comerciales (ej. producción de carne, producción de huevos, plantas de incubación y otras producciones), distintas localizaciones y en diferentes meses. Los resultados del modelo revelaron que el tamaño medio de la epidemia varía significativamente en función del tipo de producción y localización del caso índice, siendo las epidemias de mayor magnitud aquellas que comenzaron en plantas de incubación y en segundo lugar aquellas originadas en granjas de producción de carne. La simulación de una epidemia del VNC en diferentes meses del año no produjo epidemias significativamente distintas en magnitud y duración.

Finalmente, creemos que los resultados obtenidos y metodologías desarrolladas en esta tesis no sólo son de gran utilidad y aplicabilidad para la elaboración de programas de prevención y control del VNC en la Rep. Argentina, sino que también sirven de apoyo para la revisión y actualización de planes de contingencia. Además, la metodología planteada puede ser potencialmente adaptada a otras enfermedades y especies animales no solo en la Rep. Argentina, sino en otros países con datos y condiciones epidemiológicas similares.

**Palabras clave:** Enfermedad de Newcastle, análisis de riesgo, modelo de difusión determinístico, análisis de redes sociales, República Argentina, prevención y control de enfermedades.

## Summary

The overall objective of this thesis is to evaluate and quantify the risk and consequences of a potential entry and spread of Newcastle disease (ND) in Argentina. To do this a semi-quantitative risk analysis model and a deterministic diffusion model have been developed. Moreover, we characterized and analyzed patterns of movements among commercial poultry farms using social network analysis methodology and the graph theory.

Argentina has a highly developed poultry industry of great economic importance which represents the second largest production of live animals after cattle. Currently the country is the 7<sup>th</sup> largest producer and 5<sup>th</sup> largest exporter of poultry products. For that reason, the potential introduction and spread of infectious diseases such as ND, could cause severe socio-economic consequences. The ND is worldwide considered as one of the major diseases affecting the poultry industry due to the high mortality that can produce and to the socio-economic impacts from trade restrictions in the affected countries that can arise. Because of its importance and because it is a highly contagious disease, is included in the list of reportable diseases by the World Organization for Animal Health (OIE), being endemic in many countries of America, Middle East, Africa and Asia. Since July 1997, OIE considers Argentina as free from ND.

To evaluate and quantify the risk and consequences of the potential entry of ND, a semi-quantitative risk analysis model has been developed, according to the guidelines recommended by OIE. Up to the present no risk analysis model adapted to the characteristics of Argentina to estimate the risk of ND has been found in the literature. The analyzed pathways to assess the risk of potential entry of ND in Argentina were the most important ones and those with enough information to be evaluated. Specifically, the selected pathways for the analysis were the imports of live poultry, poultry products and fertile eggs. To perform this analysis we collected information from both national databases (such as volume of birds, hatching eggs, poultry products and imported products recorded from 2001 to 2010) and international scientific publications. The steps followed in this study focused specifically on hazard identification and risk assessment (which included the risk estimate of release and exposure and the estimate of the total risk). The results of the semi-quantitative risk analysis indicated that the total relative risk associated with the importation of pigeons and chickens was high, being United States the country that represents the highest relative risk of release associated to pigeons and United States and Brazil regarding to chickens. Ducks, turkeys and psittacines had a medium total relative risk. The

total relative risk for all products was low or negligible. Similarly, the total relative risk for ornamental birds was negligible, although the uncertainty associated to this group of birds was high. The total relative risk associated to fertile eggs was low. When analyzing live birds in total, the country that represents an increased relative risk of virus release into Argentina was United States.

To describe the spatiotemporal pattern of animal movements among poultry farms, we conducted an exploratory analysis of all movements in Argentina during 2009 and 2010 using the network analysis methodology. Taking into account the records of 2011, we also conducted a comprehensive descriptive analysis of the characteristics of the poultry farms located in Argentina. The main results from these analyzes indicated that there is no temporal variation of commercial poultry movements between farms, and that the average distance of the movements was 210 km in 2009 and 198 km in 2010. The provinces of Buenos Aires and Entre Ríos concentrate approximately 70% of the country movements in 2009 and 2010. In 2009 and 2010 the highest values of in-degree were in meat production farms and the highest values of out-degree were in hatcheries.

Moreover, we performed for the first time a deterministic SIR (susceptible-infectious-removed) diffusion model based on real a contact network among commercial farms in Argentina to quantify the potential spread of ND during the high risk period. The constructed model allowed us to evaluate the potential development of an epidemic of ND, as well as to identify areas of greatest risk and to quantify the potential consequences regarding poultry health in Argentina. The spread of the disease within the farm was also incorporated into the model allowing us to calculate the probability that an infected bird were mobilized depending on the health status of the farm and modeling more realistically the potential magnitude of the epidemic. We evaluated various scenarios to assess the sanitary consequences that a ND incursion into Argentina would have. Specifically, we performed simulations of an epidemic in which the primary outbreaks (index cases) were different types of commercial poultry production (e.g. meat production, egg production, hatcheries and other productions), different locations and happening in different months. The model results revealed that the average size of the epidemic varies significantly according to the type of production and location of the index case, being the epidemics of greater magnitude those which started in hatcheries, followed by those originating from meat production farms. The simulation of an epidemic of ND in different months was not significant different in magnitude or duration.

Finally, we believe that the results and methodologies developed in this thesis are not only useful and applicable for the development of ND prevention and control programs in Argentina but also for supporting the review and updating of contingency plans. In addition, the proposed methodology can be potentially adapted to other diseases and animal species in Argentina and other countries with similar epidemiological data and conditions.

**Keywords:** Newcastle disease, risk analysis, deterministic diffusion model, social network analysis, Argentina, prevention and control of diseases.



## **I. INTRODUCCIÓN**



## I. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen brevemente los aspectos más relevantes en cuanto a la etiopatogenia; especies susceptibles; formas de transmisión; mecanismos de prevención y control de la enfermedad, así como también la situación histórica y actual en el mundo y en la Rep. Argentina del virus de Newcastle. El conocimiento de estos aspectos epidemiológicos es clave para la evaluación posterior del riesgo potencial de introducción y difusión del virus en la Rep. Argentina, que son los objetivos fundamentales de esta tesis. Además, se hace una descripción de los fundamentos y aspectos más relevantes del análisis de riesgo, análisis de redes sociales y modelos de difusión de enfermedades, todos ellos empleados en el contexto de esta tesis.

### I-1. ENFERMEDAD DE NEWCASTLE

---

#### I-1.1. Agente etiológico

La enfermedad de Newcastle (ENC) es una infección vírica aviar producida por un virus con envoltura RNA monocatenario del género *Avulavirus*, sub-familia *Paramixovirinae*, familia *Paramyxoviridae*, perteneciente al orden *Mononegavirales* (Mayo, 2002; Lamb et al., 2005; Fauquet, 2005).

Hay diez serotipos de *paramixovirus* aviares clasificados como APMV 1-10 (OIE, 2012) y el APMV-1 fue clasificado como el virus de la enfermedad de Newcastle (VNC) (Tabla 1).

El virus de la enfermedad de Newcastle se clasifica en cinco patotipos basados en los signos clínicos observados en pollos infectados: a) *velogénico viscerotrópico*, caracterizado por infecciones letales agudas, usualmente con lesiones hemorrágicas en los intestinos de las aves muertas; b) *velogénico neurotrópico*, caracterizado por una alta mortalidad que acompaña con síntomas respiratorios y neurológicos, pero con ausencia de lesiones en el intestino; c) *mesogénico*, con signos clínicos respiratorios y neurológicos acompañados de una baja mortalidad; d) *lentogénico o respiratorio*, causa una leve infección en el tracto respiratorio y e) *entérico subclínico*, infecciones avirulentas donde la replicación primaria se produce en el intestino (Beard y Hanson, 1981). Sin embargo, estas categorías generalmente son utilizadas con propósitos



descriptivos ya que ocurren algunas superposiciones y algunos virus son difíciles de clasificar.

Tabla 1. Clasificación serológica de los distintos tipos de paramixovirus aviares. Fuente: Miller, 2010.

| Serotipo                                  | Hospedador Natural                                |
|---|---|
| APMV-1 (Enfermedad de Newcastle)          | > 250 especies de aves                            |
| APMV-2/chicken/California/Yucaipa/1956    | Pavos, pollos, psitácidos, passeriformes, rálidos |
| AMPV-3/Turkey/Wisconsin/1968              | Pavos   |
| APMV-3/parakeet/Netherlands/449/1975      | Psitácidas, passeriformes, flamencos              |
| APMV-4/duck/Hong Kong/D3/1975             | Patos, gansos, pavos                              |
| APMV-5/budgerigar/Japan/Kunitachi/1974    | Periquitos, loros                                 |
| APMV-6/duck/Hong Kong/199/1977            | Patos, gansos, pavos                              |
| APMV-7/dove/Tennessee/4/1975              | Palomas, pavos                                    |
| APMV-8/gosse/Delaware/1053/1976           | Patos y gansos                                    |
| APMV-9/domestic duck/New York/22/1978     | Patos   |
| AMPV-10/Penguin/Falkland Islands/234/2007 | Pingüino Rockhooper                               |

Las cepas velogénicas, consideradas de alta patogenicidad, son responsables de la ENC y son de declaración obligatoria a la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). La OIE define a la ENC, como una infección de aves causada por un virus del serotipo 1 del paramixovirus aviar (APMV-1) que cumple uno de los siguientes criterios de virulencia:

a) El virus tiene un índice de patogenicidad intracerebral (IPIC) en pollitos de un día (*Gallus gallus*) equivalente o superior a 0,7, o

b) Se ha demostrado, directamente o por deducción, la presencia de múltiples aminoácidos básicos en el virus, en el extremo C-terminal de la proteína F2 y un residuo de fenilalanina en la posición 117, la cual está en el extremo N-terminal de la proteína F1. El término “múltiples aminoácidos básicos” se refiere a la presencia de al menos tres residuos de arginina o lisina entre las posiciones 113 y 116. La imposibilidad de demostrar el modelo característico de residuos de aminoácidos como se ha descrito anteriormente, requeriría la caracterización del virus aislado mediante una prueba IPIC. En esta definición, los residuos de aminoácidos se numeran desde el extremo N-terminal de la secuencia de aminoácidos deducida a partir de la secuencia

de nucleótidos del gen F0, donde las posiciones 113–116 corresponden de la –4 a la –1 a partir del punto de escisión (OIE, 2012b).

Las cepas de campo de baja virulencia no son estables como eran en el pasado, y en la actualidad se considera que algunas cepas de baja virulencia puedan mutar y hacerse virulentas después de una introducción en poblaciones de pollos (Alexander, 2001).

Los VNC poseen generalmente una forma esférica aunque el pleomorfismo es común, miden entre 100 y 400 nm de diámetro y son virus encapsulados (Figura 1).

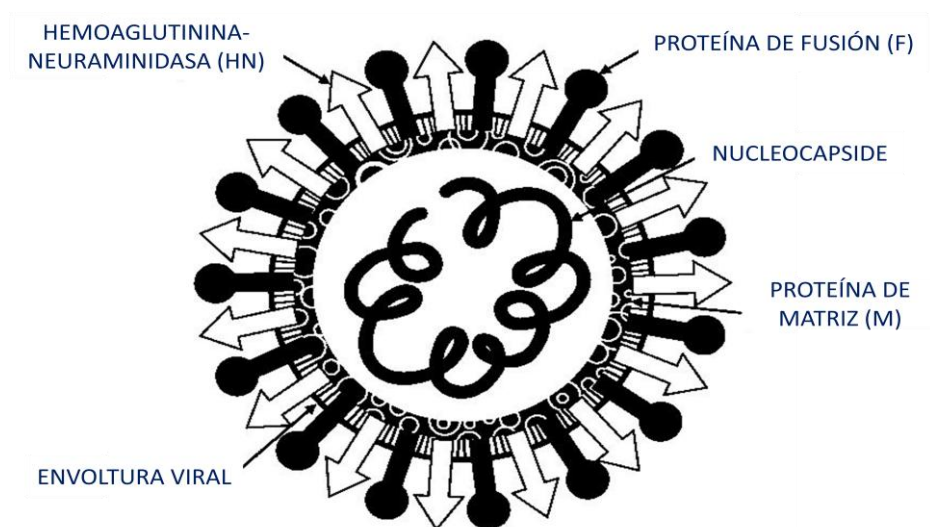


Figura 1. Representación esquemática de la estructura del virus de Newcastle. Fuente: Adaptado de Grimes, 2002.

El genoma viral está formado por una cadena simple de ARN no segmentado con 15.186 nucleótidos y polaridad negativa (Krishnamurthy y Samal, 1998; Phillips et al, 1998; de Leeuw y Peeters, 1999). El genoma viral está compuesto por seis genes importantes que codifican a sus seis correspondientes proteínas estructurales: nucleoproteína (NP), Fosfoproteína (P), matriz (M), fusión (F), hemoaglutinina-neuraminidasa (HN), y la RNA polimerasa (L) (Chambers et al., 1986; Huang et al., 2003) y a dos proteínas no estructurales, W y V (Steward et al., 1993).

La HN, como su propio nombre lo indica, posee actividad de hemoaglutinina y neuraminidasa (Scheid y Chopin, 1974). La actividad hemoaglutinante permite la unión a los receptores de la membrana de las células huésped, incluidas los glóbulos rojos (esta unión se usa para detectar la presencia del virus y anticuerpos en el laboratorio)

(Kimball, 1990) y el tiempo en el que la HN es destruida por el calor puede usarse para diferenciar una cepa de la otra. Mediante la actividad neuraminidasa la HN hidroliza el ácido siálico terminal de glucoproteínas y glucolípidos dejando libre las partículas virales de los receptores de las células hospedadoras, facilitando la difusión del virus.

Se cree que la matriz proteica (M) juega un papel importante en el ensamblaje del virus por interactuar con la NP, la membrana lipídica y las regiones de las proteínas de superficie que se encuentran en la superficie interna de la membrana (Yusoff y Tan, 2001). Por otro lado, la proteína F fusiona la capsula viral con la membrana celular de la célula hospedadora, permitiendo así la penetración del genoma viral (Lamb y Kolakofsky, 1996).

La función específica que juegan la NP, P, y L se desconoce, pero se sabe que en su conjunto forman un complejo activo involucrado en la transcripción y replicación del genoma (Hamaguchi et al., 1983; Hamaguchi et al., 1985). Las diferencias encontradas entre las proteínas NP de distintos aislados del virus pueden tener un papel importante en la virulencia individual de las cepas (Seal et al., 2002).

Sobre el origen del VNC existen tres teorías. La primera es la posibilidad que una mutación mayor de un precursor de un virus de baja patogenicidad resultó en un VNC alta patogenicidad. La segunda, es que la infección estaba presente en las aves de corral en el Sudeste Asiático por largo tiempo, pero que solo afectaba a la población de aves que vivía en los arrozales (producción extensiva) y no se les prestaba mucha atención, y cuando se comenzó con la cría intensiva afectó económicamente a las aves de producción. La tercera es la posibilidad de que el VNC estuviera presente como una enfermedad enzoótica en especies diferentes de las aves de corral y fue solo cuando estas especies y las aves de corral se criaron conjuntamente cuando la enfermedad emergió (Alexander, 1988).

#### I-1.1.1 Supervivencia del virus de Newcastle

La capacidad de supervivencia del VNC en el ambiente y en los productos avícolas es una información vital para evaluar el riesgo potencial de introducción y difusión de la enfermedad.

#### I-1.1.1.a. Supervivencia en el ambiente

La supervivencia del VNC en el ambiente juega un papel muy importante en la perpetuación y difusión de la enfermedad (Lancaster, 1966). Los tiempos de supervivencia del VNC en el ambiente dependen fundamentalmente de la temperatura, humedad y el ambiente (Boyd y Hanson, 1958; Lancaster, 1966). El VNC sobrevive durante largos periodos en el ambiente, especialmente en heces, en un ambiente húmedo y cálido el virus puede mantenerse durante semanas en las plumas, en el estiércol y en otros materiales.

Un estudio publicado por Boyd y Hanson (1958), concluyó que el VNC puede sobrevivir en el suelo a una temperatura de 20°C con una humedad relativa de 0%, 15% y 100% durante 8, 15 y 22 días, respectivamente. Otro estudio mostró que el VNC puede sobrevivir a 3-6°C, 20-30°C y a 37°C durante 235, 71 y 25 días, respectivamente (Olesiuk, 1951).

El virus puede sobrevivir en el agua desde 32 horas hasta 19 días, dependiendo de la temperatura (Animal Health Australia, 2010).

Olesiuk (1951) mostró que la supervivencia del VNC en heces a 3-6°C, 20-30°C y 37°C puede ser de 538, 94 y 56 días, respectivamente. Sin embargo, la radiación solar ultravioleta bajo la luz del sol produce la inactivación del virus en 30 minutos.

En los establecimientos de pollos ocupados previamente con aves infectadas, el VNC sobrevivió no más de 7 días durante el verano, 14 durante la primavera y 30 días en el invierno (Lancaster, 1966). Otros autores mostraron que la supervivencia del VNC en plumas sucias no fue superior de 6 a 14 días, y en zonas donde se acumula la basura en los establecimientos de pollos fue de 53 días (Lancaster, 1966).

#### I-1.1.1.b. Supervivencia en productos avícolas

La aplicación de calor mediante el cocinado y la pasteurización, es el procedimiento más comúnmente utilizado para la inactivación de muchos agentes infecciosos, como por ejemplo el VNC, en carne y huevos, respectivamente (Swayne y Beck, 2004).

#### *I-1.1.1.b.1. Carcasas*

El VNC es relativamente estable en las carcasas de las aves hasta su avanzada descomposición, está demostrado que en los países tropicales donde la temperatura es alrededor de 40°C y la humedad relativa es de 20-30%, como ocurre en algunas zonas de la Rep. Argentina, el virus puede persistir, por al menos, 4 semanas en las carcasas (Warner, 1989). También el VNC fue aislado de carcasas de pollos congelados durante más de 730 días y de pollos enterrados durante 121 días.

Un estudio concluyó que el VNC puede sobrevivir en la piel y medula ósea de las carcasas de gallinas evisceradas y desplumadas hasta 98 días a una temperatura de 1°C y 134 días a 1.7°C, mientras que en aves sin desplumar el tiempo de supervivencia ascendió a 160 y 196 días, respectivamente (Asplin, 1949).

#### *I-1.1.1.b.2. Productos cárnicos*

Los tiempos de supervivencia del virus en productos cárnicos dependen de la cepa y de la temperatura. Por ejemplo, la estabilidad del virus a 56°C varía de 5 hasta 240 minutos dependiendo de la cepa del VNC (Arzey, 1989; Alexander y Manvell, 2004; Animal Health Australia, 2010).

El VNC continua siendo infectivo en medula ósea y músculos de pollos sacrificados durante al menos seis meses a -20°C y hasta cuatro meses a temperaturas a -4°C. (Animal Health Australia, 2010).

El análisis de riesgo llevado a cabo por el gobierno de Australia indica que para asegurarse la destrucción del VNC en carne de pollos, ésta tiene que ser tratada a una temperatura de 70°C durante 8 minutos y 12 segundos (Biosecurity Australia, 2010).

En carne homogeneizada de pollos infectados artificialmente los valores para la inactivación del virus fueron: 65°C durante 120 seg., 70°C durante 82 seg. y a 80°C durante 29 seg. (Alexander y Manvell, 2004).

Hay que tener en cuenta que las harinas de despojos de aves de corral y alimentos para animales domésticos por lo general suelen cocinarse a más de 100°C desde

varios minutos hasta más de una hora, lo cual es suficiente para inactivar el VNC (Animal Health Australia, 2010).

#### *I-1.1.1.b.3. Huevos y derivados*

El virus también ha sido aislado de huevos de gallinas infectadas tanto en la cáscara como en su interior (Williamns y Dillard, 1968). Lancaster y Alexander (Alexander et. al., 1984) citaron un estudio donde se demostró que el VNC fue capaz de entrar en la cutícula y en la cáscara de los huevos, y ocasionalmente, hasta la membrana, especialmente en huevos rajados.

Sin embargo, la inactivación del VNC en huevos dependen del tipo de producto del huevo, la cepa viral, la temperatura del proceso, el tiempo del tratamiento y la concentración del virus (Swayne y Beck, 2004).

Los productos derivados del huevo constituyen otra fuente potencial del virus. Los procedimientos para la inactivación del VNC actuales de pasteurización y los procedimientos de cocción de los productos del huevo se muestran a continuación en la tabla 2.

En algunos casos las condiciones de temperatura presentadas en la tabla 2 no son suficientes para inactivar la mayoría de las cepas del VNC, algunas cepas requieren un mínimo 5 minutos a 67°C, hasta 30 minutos a 58-64°C, y tiempos más largos a 55°C (Arzey, 1989; Animal Health Australia, 2010).

El VNC también ha sido aislado de huevos fértiles cuyos padres estaban vacunados (Capua et. al., 1993).

Tabla 2. Tiempo de inactivación del VNC en productos derivados del huevo. Elaboración propia.

| Producto                 | Cepa viral  | Temperatura (°C) | Tiempo   | Referencia                             |
|--------------------------|-------------|------------------|----------|--|
| Huevo entero sin cascara | VNC         | 64               | 2,5 m    | FSANZ 2009                             |
| Yema líquida             | VNC         | 60               | 3,5 m    | FSANZ 2009                             |
| Clara líquida            | VNC         | 55               | 9,5 m    | FSANZ 2009                             |
| Huevo líquido            | Velogénico  | 64°C             | 38 s     | Gough, 1973; Alexander y Chettle, 1998 |
| Huevo entero             | Lentogénico | 55°C             | 320,7 s  | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo entero             | Lentogénico | 61°C             | < 18 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo entero             | Velogénico  | 55°C             | 360,1 s  | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo entero             | Velogénico  | 61°C             | < 20 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo entero             | Lentogénico | 55°C             | 237,7 s  | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo entero             | Lentogénico | 61°C             | < 18 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo líquido            | Lentogénico | 55°C             | 282,8 s  | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo líquido            | Lentogénico | 61°C             | < 20 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo líquido            | Velogénico  | 55°C             | 325,4 s  | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo líquido            | Velogénico  | 61°C             | < 19 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo líquido            | Lentogénico | 55°C             | 260,9 s  | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo líquido            | Lentogénico | 61°C             | < 19 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Yema salada 10%          | Lentogénico | 55°C             | < 19 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Yema salada 10%          | Lentogénico | 61°C             | < 19 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Yema salada 10%          | Velogénico  | 55°C             | < 18 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Yema salada 10%          | Velogénico  | 61°C             | < 18 s   | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo seco               | Lentogénico | 55°C             | < 0,25 d | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo seco               | Lentogénico | 61°C             | < 0,25 d | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo seco               | Velogénico  | 55°C             | 0,3 d    | Swayne y Beck, 2004                    |
| Huevo seco               | Velogénico  | 61°C             | < 0,23 d | Swayne y Beck, 2004                    |

m: minutos, s: segundos, d: días

*I-1.1.1.c. Métodos de inactivación, resistencia a los agentes físico-químicos del VNC*

La estabilidad del VNC, puede evaluarse considerando el grado de alteración que sufren alguna de sus propiedades, como la habilidad de infectar, de aglutinar glóbulos rojos de diferentes especies animales o de su inmunogenicidad, cuando es expuesto a diversos agentes físicos y químicos como el calor, luz ultravioleta, rayos x y los procesos de oxidación y cambios de pH, por sustancias ácidas o básicas. La proporción en que se afectan las propiedades virales, varía con la cepa del virus, el tiempo de exposición a los agentes físicos y químicos, la cantidad de virus expuesto, la naturaleza química del medio de suspensión (Beard y Hanson, 1981; Alexander, 1991).

El calor puede afectar las propiedades de infectividad, de hemoaglutinación y de antigenicidad del virus dependiendo de la intensidad y del tiempo. Así, estas propiedades pueden ser destruidas a 100°C en 1 minuto y a 56°C entre 5 minutos a 6



horas; mientras que a 37°C se requerirán horas o días; y a 8-10°C, el virus durará meses antes de su inactivación (Beard y Hanson 1981).

Por otra parte, la inactivación del virus por algunas sustancias químicas, dependerá mucho de la naturaleza de las sustancias químicas. Se han descrito que en general los desinfectantes químicos conocidos (clorhexidina, hipoclorito de sodio al 6%, fenólicos y los agentes oxidantes como el Virkon) bien utilizados en los establecimientos avícolas, inactivan al VNC (Beard y Hanson, 1981; Alexander, 1991; Alvarez Ortiz, 1992; OIE, 2009).

### **I-1.2. Especies susceptibles al VNC**

El virus de la ENC se ha detectado en más de 250 especies de aves en 27 de los 50 Órdenes de aves que existen. Todas las aves parecen ser susceptibles a la infección, aunque el grado de la enfermedad varía según la especie y en función de la cepa viral (Kaleta y Baldauf, 1988; Caupa y Alexander, 2009; Miller, 2010). Cepas patógenas del VNC fueron encontradas tanto en aves silvestres como domésticas. También pueden producirse infecciones en los humanos y se han detectado infecciones en reptiles y roedores (Johnson, 1974; Kouwenhoven, 1993).

#### **I-1.2.1. Susceptibilidad del VNC en las aves domésticas**

Los miembros del orden Phasianiformes (aves gallináceas), en particular los pollos y gallinas, son altamente susceptibles a la ENC según los estudios realizados a nivel experimental y en observaciones a campo (Gilchrist, 2005; Wakamatsu et al., 2006; Spickler et al., 2008).

Los patos y los gansos son considerados potenciales reservorios del VNC (Collins et al., 1993; Takakuwa et al., 1998; Shengqing et al., 2002; Kim et al., 2007) y presentan generalmente infecciones inaparentes, sin embargo son capaces de albergar el virus y actuar como diseminadores (Vickers y Hanson, 1982; Kaleta y Baldauf, 1988; Takakuwa et al., 1998; Roy et al., 2000; Stanislawek et al., 2002; Tsai et al., 2004; Hanson et al., 2005; Gilchrist, 2006; Liu et al., 2007). Algunas cepas (APMV-6 y APMV-7) han causado brotes en gansos, y se han descrito casos clínicos de esta especie en China desde los años 90.



En las avestruces (orden *Struthioniformes*) el VNC fue notificado por primera vez en el año 1950 (Burbano et al, 2005), posteriormente algunos brotes fueron notificados en granjas comerciales en Israel (Samberg, 1989) y durante los años 90 los brotes más importantes se produjeron en Sudáfrica (Verwoerd, 2000). También se ha aislado el VNC patógeno de avestruces durante una cuarentena en Dinamarca en 1995 (Jørgensen et al., 1999) y se han detectado anticuerpos durante un muestreo en Zimbabue (Cadman et al., 1994).

#### I-1.2.2. Susceptibilidad del VNC en las aves exóticas y silvestres

La susceptibilidad a la enfermedad varía ampliamente entre las aves de corral y aquellas que son utilizadas como mascotas (Spickler et al., 2008).

Los VNC encontrados comúnmente en aves silvestres, acuáticas silvestres migratorias y otras aves acuáticas, generalmente son de baja patogenicidad para los pollos, similares a los virus clasificados como entéricos asintomáticos o lentogénicos. En general, las aves silvestres muestran pocos o ningún síntoma incluso tras ser infectadas con cepas virulentas del VNC (Vickers y Hanson, 1982; Kuiken et al., 1998; Takakuwa et al., 1998; Stanislawek et al., 2002; Tsai et al., 2004; Hanson et al., 2005). La importancia que tienen las aves acuáticas es que pueden actuar como reservorios del VNC y como fuente de infección en aves de corral, pudiendo originar, eventualmente, brotes de ENC en estas especies (Alexander, 1995; Stanislawek et al., 2002). Muy esporádicamente cepas patógenas son encontradas en aves silvestres. Por ejemplo, se han encontrado en algunas poblaciones de cormoranes (*Phalacrocorax* spp) en Norteamérica (Glaser et al., 1999) y en el Oeste de Canadá (Wobeser et al., 1993,) y en cerceta común (*Anas crecca*) en Iran (Bozorgmehri-Fard y Keyvanfar, 1979), causando enfermedad en aves jóvenes silvestres y también, conjuntamente, en aves domésticas.

Las palomas (orden *Columbiformes*) son muy susceptibles a la ENC y los virus lentogénicos o mesogénicos del VNC son endémicos en sus poblaciones. El VNC que afecta a las palomas muy probablemente apareció en Iraq en 1978 (Kaleta et al., 1985) pero fue diagnosticado por primera vez en palomas mensajeras en Italia en 1981 (Vindevogel et al., 1982), luego se diseminó por Europa en 1983 y desde 1985 está presente en todo el mundo (Alexander, 1991; Aldous et al., 2004).

El VNC de alta virulencia fue aislado de aves en cautiverio utilizadas como mascotas (Senne et al., 1983). La susceptibilidad a la enfermedad varía mucho en aves psitácidas (orden Psitaciformes); las cakatúas suelen morir o desarrollar signos neurológicos, pero algunas especies tienden a portar el virus velogénico subclínicamente (Spickler et al., 2008).

Además, los pingüinos (orden Sphenisciformes) son altamente susceptibles a la ENC y en algunas ocasiones mueren de forma aguda. Se ha aislado el VNC tanto de alta (Pierson et al., 1975) como de baja patogenicidad (Alexander, et al., 1989) en pingüinos antárticos, concretamente, suero positivo de APMV-1 y AMPV-2 (Morgan et al., 1981; Morgan et al., 1981b; Karesh et al., 1999; Gauthier-Clerc et al., 2002; Smith et al., 2008). El virus APMV-10 también fue caracterizado y aislado de pingüinos de las Islas Malvinas (Miller, 2010).

Se ha descrito mortalidad en algunas rapaces (orden Falconiformes), tales como quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), especies de halcones, águila marina de cola blanca (*Haliaeetus albicilla*) y el águila pescadora (*Pandion haliaetus*). Otras aves rapaces tienden a ser resistentes a la enfermedad.

También se ha detectado el VNC en las gaviotas (orden Charadriiformes), búhos (orden Strigiformes), pelícanos (orden Pelecaniformes) y un alcatraz atlántico (*Morus bassanus*; orden Pelecaniformes). Igualmente, la susceptibilidad varía mucho entre las aves paseriformes (orden Passeriformes), con algunas especies que eliminan el virus subclínicamente y otras que desarrollan signos clínicos graves. También se han notificado muertes ocasionales en cuervos (*Corvidos*) (Spickler et al., 2008).

#### I-1.2.3. Susceptibilidad del VNC en humanos

El VNC es un patógeno que puede afectar también al ser humano. La infección no es mortal ya que, por lo general, produce una sintomatología leve por uno o dos días. Los síntomas clínicos más frecuentes y más importantes en humanos causan infecciones en los ojos, que pueden producir un enrojecimiento unilateral o bilateral, lagrimeo excesivo, edema de párpados, conjuntivitis y hemorragia subconjuntival. Las infecciones son usualmente transitorias y la cornea no se ve afectada.



Existe evidencia de que las vacunas vivas con cepas virulentas utilizadas en las aves de corral causan síntomas clínicos en humanos. Las infecciones en humanos se dan por contacto directo con el virus o por contacto con aves vivas infectadas o muertas. No existen casos de transmisión entre humanos, aunque la transmisión por contagio es teóricamente posible. El tipo de personas que suelen infectarse son trabajadores de laboratorio (normalmente como resultado de accidentes por salpicaduras de material infectado en los ojos), veterinarios de laboratorios diagnósticos, trabajadores de plantas procesadoras de pollos y en campañas de vacunación (especialmente cuando las vacunas se administran por aerosoles o en polvos finos) (Poultry Diseases, 2008).

#### I-1.2.4. Susceptibilidad en otras especies

Infecciones con el VNC fueron diagnosticadas en reptiles como cocodrilos, serpientes, lagartos (Kouwenhoven, 1993), y se identificaron roedores positivos en un brote ocurrido en California en 1974 (Johnson, 1974). Sin embargo se cree que estas especies no juegan un papel importante en la epidemiología de la enfermedad.

#### **I-1.3. Formas de transmisión**

La ENC es una enfermedad muy contagiosa que se trasmite fácilmente tanto por contacto directo (ave-ave), como por contacto indirecto (a través de fómites).

El VNC puede ser eliminado de la mayoría de las superficies epiteliales en aerosoles, descargas respiratorias y heces, pero la ruta fecal-oral es la más importante en términos de transmisión. La inhalación y la ingestión son las vías predominantes en la infección, evidencias de este modo de transmisión fue demostrado a lo largo de las décadas en muchas partes del mundo (Lancaster, 1963; Lancaster, 1966; Lancaster, 1975; Burrige et al., 1975; Alexander, 2003; Caupa y Alexander, 2009).

Las vías más frecuentes de transmisión del VNC son el contacto directo de aves, o el contacto indirecto con alimentos contaminados, subproductos contaminados, agua, transporte por personas y otros fómites (Alexander, 1988; Alexander, 2003; Caupa y Alexander, 2009; Li, 2009).

La transmisión por aire también es considerada como una importante vía de difusión del VNC, de hecho esta vía fue considerada como una de las más importantes en los



brotes de Inglaterra en los años 1970-1971 (Hugh-Jones et al., 1973) y en Irlanda en la epidemia de 1973 (Mc Ferran, 1989). El transporte a través del viento a largas distancias fue descrito por Lancaster et al., en 1975; los factores ambientales como la temperatura, humedad, y la densidad de las ave influyen en la transmisión del VNC a través del viento (Alexander, et al., 2004).

Las gallináceas eliminan el VNC por sólo 1-2 semanas, pero a menudo las psitácidas lo eliminan durante varios meses; algunas especies de aves psitácidas pueden eliminarlo por más de un año. La eliminación prolongada se ha observado también en algunos miembros de otros órdenes, incluidos los búhos (más de cuatro meses) y cormoranes (un mes), con una eliminación esporádica para ambos órdenes (OIE, 2009).

Como se indicó anteriormente, la infección es normalmente transmitida por contacto directo de aves enfermas y también por aves sin síntomas clínicos que poseen el virus. Las aves vacunadas que están clínicamente sanas también pueden excretar el virus después de estar expuestas (Caupa y Alexander, 2009).

Teniendo en cuenta las distintas formas de transmisión y los materiales que pueden estar contaminados, la introducción o difusión de la enfermedad en un país se producirá por algunas de las vías que se detallan en la siguiente sección:

#### I-1.3.1. Vías de entrada del VNC

Existen numerosas vías de introducción potencial del VNC en un país o un área libre de enfermedad, éstas incluyen: el comercio legal aves domésticas; comercio legal de aves exóticas, comercio legal de productos avícolas (huevos, carne y derivados); la migración de aves silvestres; transmisión mecánica (movimientos de personas y objetos contaminados), vía aerógena, a través de vacunas contaminadas, por un acto bioterrorista; y mediante el comercio ilegal de aves y subproductos avícolas (Wobeser et al., 1993; Alexander, 1995; Alexander et al., 1998; Seal et al., 1998; Capua et al., 2002; Aldous et al., 2007; Bogoyavlenskiy et al., 2009; IICA-Senasa, 2010) (Figura 2). Hay estudios que indican un mayor riesgo de entrada asociado a la migración de aves silvestres, al comercio de animales vivos y al comercio de productos/subproductos avícolas (Gordon et al., 1948; Grausgruber y Möslinger, 1965; Grausgruber, 1973; Wobeser et al., 1993; Capua et al., 1994; Alexander, 1995; Geering et al., 1995;

Alexander et al., 1998; Jørgensen et al., 1999; Aldous et al., 2007; OIE, 2007; Aldous y Alexander, 2008; Bogoyavlenskiy et al., 2009). A continuación se describe cada una de estas vías con mayor detalle.

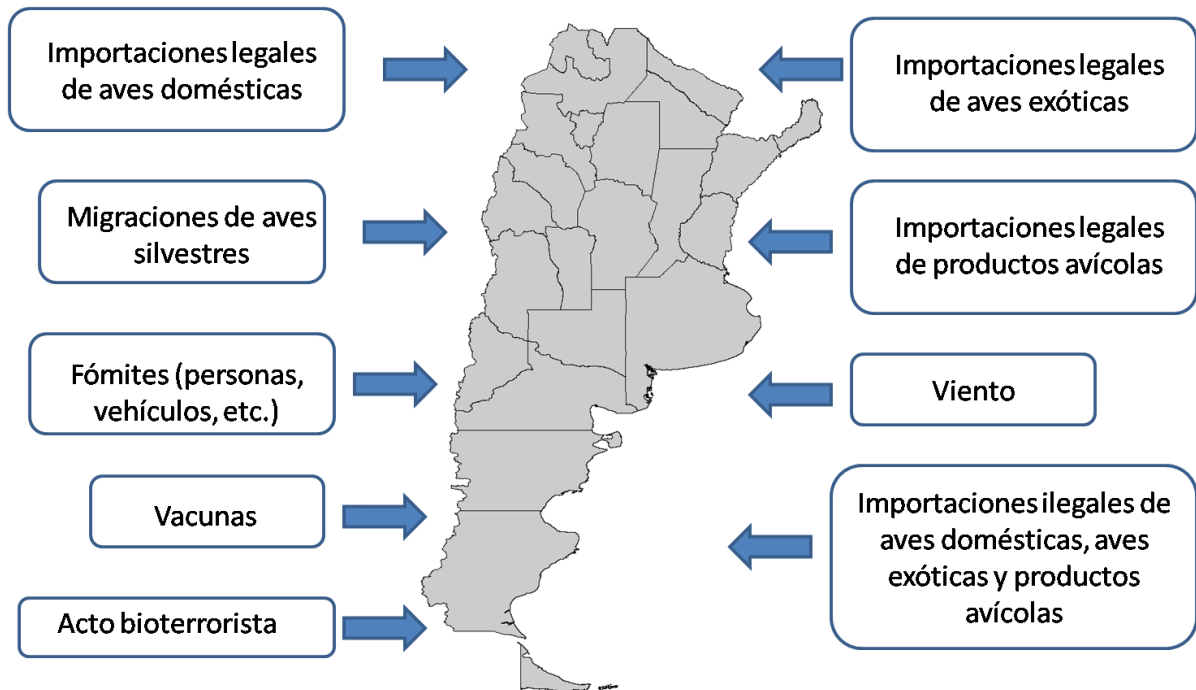


Figura 2. Esquema con las principales vías de entrada del VNC. Fuente: Elaboración propia.

#### *I-1.3.1.a. Comercio legal de aves domésticas*

Como se dijo anteriormente el comercio de aves infectadas es la principal vía de introducción del VNC (Alexander, 1988). Ejemplo de ello fueron las epidemias ocurridas en Europa entre los años 1991 y 1994 (Werner, 1994) y posteriormente en Inglaterra en el 2005 (Aldous et al., 2007; Alexander, 2008) y en Eslovaquia en el 2007 (OIE, 2007).

No obstante, hay que puntualizar que el riesgo asociado a esta vía se limita al período de alto riesgo (antes de que un país/región detecte la ocurrencia de la enfermedad en su territorio), ya que en el momento en el que un país se declara infectado se paraliza el comercio internacional de aves vivas.

*I-1.3.1.b. Comercio legal de aves exóticas*

El comercio de aves exóticas es otra vía de gran importancia y estuvo implicado en la introducción del VNC en numerosos brotes, un ejemplo son los brotes de EEUU ocurridos en los años 1991 al 1994 (Bruning-Farnn et al., 1992; Panigrahy et al., 1993; Alexander, 1995). En numerosas ocasiones se ha aislado el virus en aves durante la cuarentena, por ejemplo en EEUU entre los años 1974-1981 se produjeron 147 aislamientos del VNC de alta patogenicidad de 2.274 lotes de aves de cautiverio durante la cuarentena (Senne et al., 1983).

Otros ejemplos de introducciones del VNC ocurridos por la importación de aves exóticas que afectó a pollos (y gorriones silvestres) en Alemania fue asociado a la importación de faisanes desde Hungría (Wagener, 1941). Igualmente, un brote de VNC altamente patógeno que se produjo en California del Sur en 1972 fue debido a la importación de psitácidas desde Sudamérica (Walker et al., 1973).

Las especies que se ven mayormente afectadas y que son las más relevantes para la potencial transmisión del VNC en el comercio de aves de exóticas están incluidas en la tabla 3:

Tabla 3. Especies de aves más importantes para la transmisión del VNC en el comercio de aves exóticas. Tabla adaptada con datos de la EFSA 2006.

| Especies  | Referencias   |
|---|---|
| <b>Psitaciformes</b>                                | Lüthgen y Wachendörfer, 1970; Pohl, 1971; Wachendörfer y Lüthgen, 1971; Grausgruber, 1972; Walker et al., 1973; Ehram et al., 1975; Eaves y Grimes, 1978                |
| <b>Paseriformes</b>                                 | McFerran et al., 1974; Kida et al., 1982; Tumova et al., 1984   |
| <b>Gaviotas y aves costeras</b>                     | Ottis y Bachmann, 1983; Telbis et al., 1989; Weingartl et al., 2003   |
| <b>Aves de presa</b>                                | Keymer, 1958; Heidenreich, 1997   |
| <b>Galliformes</b>                                  | Brandly et al., 1946; Weidenmüller y Osthof, 1953; Spradbrow, 1992  |
| <b>Anseriformes (Anátidas)</b>                      | Page, 1958; Rosenberger et al., 1975; Kessler et al., 1979; Shortridge et al., 1980; Abenes et al., 1982; Yamane et al., 1982; Deibel et al., 1985; Telbis et al., 1989 |
| <b>Otras aves (Cigüeña Blanca, Pingüinos, Búho)</b> | Kaleta et al., 1981; Alexander et al., 1989; Telbis et al., 1989  |

Algunas psitácidas infectadas demostraron que excretan virus intermitentemente por periodos extremadamente largos, en algunos casos por más de un año (Erickson et



al., 1977) por lo que el rol de estas aves puede ser especialmente importante en la introducción del VNC en un país o en un área (Utterback et al., 1973; Walker et al., 1973).

Igualmente es destacable el comercio en aves de caza, como pueden ser las palomas, que son importadas para una liberación inmediata en algunos países. De hecho son varias de las epidemias que se han asociado a la introducción de palomas, como por ejemplo la de Irak en 1977 (Kaleta et al., 1985), Italia en 1981 (Biancifiori et al., 1983), Bélgica en 1981 (Vindevogel et al., 1982) y a partir de 1985 numerosos brotes fueron notificados en muchos países (Alexander, 2001).

#### *I-1.3.1.c. Comercio legal de productos avícolas*

En el pasado, la carne de ave fue considerada una de las principales vías de introducción y difusión del VNC. El VNC ha sido frecuentemente aislado de la piel y de la medula ósea de pollos, patos, gansos y pavos comercializados internacionalmente (Lancaster, 1963). En Inglaterra y Gales en el año 1947 hubo 542 brotes atribuidos directamente a la alimentación con desperdicios avícolas a pollos (Gordon et al., 1948) y en ese mismo año mediante muestreos se aisló el VNC en un 66% de lotes en canales congeladas importadas a Inglaterra (Reid, 1961). En Australia y Suiza se asoció el ingreso del VNC a la alimentación con subproductos de aves contaminados a pollos (Grausgruber y Möslinger, 1965; Geering et al., 1995; Grausgruber, 1973).

El VNC puede transmitirse desde el tracto digestivo de la gallina al huevo pudiendo producir infección en el embrión. Cuando esto ocurre con un virus de alta patogenicidad, el resultado es la muerte del embrión (Williams y Dillard, 1968; Alexander, 1995). Cuando el ave se infecta con un VNC de baja patogenicidad, la infección del embrión puede resultar en pollitos nacidos donde el VNC puede ser aislado (Caupa et al., 1993; Chen y Wang, 2002; Roy et al., 2005). No obstante, la infección por esta vía está en controversia y su importancia en la difusión de la enfermedad no está clara (Alexander, 1997).

Las cáscaras de los huevos contaminados con heces también pueden ser causa de infecciones en pollitos recién nacidos (Spickler et al., 2008).



El VNC está presente en todas las partes del ave y algunos brotes en aves rapaces se han vinculado con la ingesta de pollos, palomas o codornices infectadas. Es importante destacar que cuando la temperatura es ligeramente superior a la descongelación (1-2°C), se ha descrito que el virus puede sobrevivir en la piel del pollo hasta 160 días y en la médula ósea casi 200 días (Spickler et al., 2008).

#### *I-1.3.1.d. Migración de aves silvestres*

La migración de aves silvestres ha sido la responsable de la introducción primaria de la infección del VNC en numerosos países (MacPherson, 1956; Lancaster, 1977; Wobeser et al, 1993), pero generalmente los VNC aislados fueron de baja virulencia (Alexander, 1995). Una excepción fue notificada en cormoranes en Norte América donde se aislaron virus de alta patogenicidad (Wobeser et al., 1993).

Sin embargo, las aves silvestres sí que pueden jugar un papel de mayor importancia en la difusión del VNC una vez que la infección se ha producido en aves de corral (Spickler et al., 2008).

La epidemiología del VNC en las aves silvestres no está comprendida de forma completa, sin embargo, las aves silvestres, especialmente las acuáticas, se han descrito como reservorios para los virus lentogénicos; los que podrían volverse más virulentos después de establecerse en las aves de corral. Algunos brotes recientes fueron aparentemente causados por virus velogénicos que surgieron de cepas locales de baja patogenicidad; la adquisición de virulencia también ha sido descrita en las aves infectadas experimentalmente.

Las palomas silvestres pueden transmitir el VNC a las aves domésticas como ha ocurrido en las epidemias de Italia (2000, 2003), Dinamarca (2002), Grecia (2005, 2007) y Francia (2005) (Capua et al., 2002; Aldous et al., 2007; EFSA, 2007). Los VNC lentogénicos o mesogénicos son endémicos en las poblaciones de palomas, y pueden ser más virulentos si afectan a las aves de corral (Spickler et al., 2008).

Al igual que las palomas silvestres, las aves psitácidas han introducido el VNC a las aves de corral y han producido brotes en Estados Unidos en 1971 (Walker et al., 1973), 1983 (Anonymus, 1983) y 1996 (Porter, 1996; Kent, 1996).





Igualmente, se ha descrito que los cormoranes podrían transmitir el virus velogénico a las aves de corral; las gaviotas asociadas con las colonias de cormoranes también podrían ser una fuente del virus y es más probable que lleguen a las granjas (Spickler et al., 2008).

#### *I-1.3.1.e. Transmisión mecánica*

La contaminación a través de heces también es una vía probable de introducción del VNC y, de hecho, la contaminación del alimento con heces de palomas infectadas fue causante de los brotes en las islas Británicas en 1984 (Alexander et al., 1985; O'Reilly et al., 1992).

Igualmente, el agua es considerada como una fuente potencial de introducción del VNC ya que el virus puede sobrevivir en ella por períodos que van desde 32 horas a 19 días (Animal Health Australia, 2010). Por ejemplo el agua con heces contaminada introdujeron el VNC en aves comerciales (Alexander, 2003).

Sin embargo, la transmisión mecánica es más importante en la diseminación secundaria del VNC (Alexander, 1995), una vez que el virus se ha introducido en una zona o país.

#### *I-1.3.1.f. Vía aerógena*

Existe controversia sobre la importancia de los aerosoles en la transmisión a larga distancia del VNC. Un estudio determinó que la distancia máxima de los aerosoles fue de 64 metros en la dirección del viento desde una granja infectada (Hugh-Jones et al., 1973) por lo que no sería una vía de importancia en la introducción y/o difusión de la enfermedad. La supervivencia del virus por aerosoles probablemente depende de la humedad y de otros factores ambientales, como así también de la concentración de aves de corral infectadas.

#### *I-1.3.1.g. Vacunas contaminadas*

El inicio y su posterior difusión de la tercer epizootia a finales de los años 70 fue atribuida al uso de vacunas a nivel mundial, especialmente vacunas vivas con el VNC (Alexander, 2001). En 1976 se detectaron vacunas vivas contaminadas con virus



velogénico viscerotrópico de NC en la Rep. Argentina y el último brote del VNC en 1987 fue atribuido a una vacuna de Diftoviruela aviar contaminada con el virus velogénico viscerotrópico de NC (IICA-Senasa, 2010). Un ejemplo de una mala aplicación de las vacunas fue la causante de los brotes en México en el año 2000 (Soto et. al., 2001).

#### *I-1.3.1.h. Acto bioterrorista*

El VNC podría ser utilizado en un acto bioterrorista para la introducción del VNC en un país, sin embargo hasta el momento no se ha descrito esta vía como responsable de ningún brote, y se cree que es poco probable que esto ocurra.

#### *I-1.3.1.i. Escape biológico:*

El escape biológico del VNC desde un laboratorio no ha sido notificado en ningún caso y se considera poco probable.

#### *I-1.3.1.j. Comercio ilegal de aves y subproductos*

El comercio ilegal tanto de aves vivas como de productos avícolas es otra potencial vía de entrada del VNC en un territorio libre de enfermedad (Panigrahy et al., 1993). No obstante, esta vía es difícil de cuantificar, debido a la escasez de información relativa al volumen, origen y destino de dichos movimientos ilegales.

#### I-1.3.2. Vías de difusión del VNC

Una vez introducida la enfermedad en una región, las principales vías de difusión del VNC son numerosas y corresponden principalmente a movimientos de aves vivas, movimientos de productos avícolas; movimientos de aves silvestres; difusión por fómites como personas o animales contaminados y por la vía aerógena (Beard y Hanson, 1981; Alexander, 1988; Alexander, 1995b). Cada una de estas vías se describen en detalle a continuación.

#### I-1.3.2.a. Comercio de productos avícolas

Fue la principal vía de difusión en el pasado. No obstante, en la actualidad con los métodos de preparación de subproductos de aves y las legislaciones que restringen o prohíben la de alimentación con desperdicios avícolas existente en numerosos países, el riesgo es menor. Aún así la posibilidad de diseminación por esta vía sigue siendo probable, siendo aún considerada como una de las principales vías en algunos países (Alexander, 1995).

#### *I-1.3.2.b. Movimientos de aves vivas*

Los métodos modernos de sacrificio e inspección veterinaria de las aves comerciales redujeron notablemente el comercio de aves vivas en Europa y en numerosos países desarrollados. No obstante, son muchos aún los países donde el método normal de comercio se produce en mercados de aves vivas, no siendo esta actividad común en la Rep. Argentina. Hay que tener en cuenta que en algunos mercados, donde las aves se juntan con otras especies representan un lugar ideal del virus para que la enfermedad pueda transmitirse.

Numerosos brotes fueron notificados por el movimiento de aves vivas infectadas como los brotes ocurridos en la UE entre 1991 y 1994 (Alexander, 1995) y en Italia en el 2000 (Capua et al., 2002).

#### *I-1.3.2.c. Movimiento de aves silvestres*

Como se explicó anteriormente las aves silvestres, tanto migratorias como residentes, pueden ser causa de la introducción del VNC en un país pero también pueden difundir la enfermedad dentro del mismo (Alexander, 2001). A pesar de que no es muy común que se infecten aves migratorias silvestres con serotipos de VNC altamente patógenos, estas aves siguen considerándose de alto riesgo para la difusión en áreas donde la enfermedad ocurre aves de corral (Caupa y Alexander, 2009).

#### *I-1.3.2.d. Vía mecánica mediante transporte, personas y otros fómites contaminados*

Históricamente la difusión de la ENC se produjo también por movimientos de personas o equipamiento contaminados. Los humanos pueden infectarse con el VNC,



padeciendo normalmente una conjuntivitis, pero también pueden fomentar el transporte mecánico de heces infectadas de un sitio a otro en el pelo, ropa, calzado, vehículos, etc. (Alexander, 1995).

El VNC se transmite fácilmente por otros fómites ya que es un virus que sobrevive bien en materiales como cascaras de huevo y, especialmente en heces. La información publicada sobre la supervivencia del virus es muy variable, probablemente debido a que se ve afectada por varios factores como la humedad, temperatura, agentes en suspensión y exposición a la luz. Un estudio presentado por Lancaster (1966) concluyó que el VNC sobrevivió en gallineros contaminados sin limpiar hasta 7 días en verano, 14 días en la primavera y 30 días durante el invierno. Spickler et al., (2008) describió otro estudio donde se aisló el virus 16 días después de la despoblación de aves no vacunadas. Sin embargo, otro estudio encontró que el VNC permaneció viable hasta 255 días en un gallinero, a una temperatura ambiente de 11°C a 36°C. A 23-29°C se ha descrito que el VNC sobrevive en la basura contaminada de 10 a 14 días y a 20°C, en el suelo durante 22 días (Spickler, et al., 2008).

El virus también se ha recuperado de las lombrices experimentalmente contaminadas entre 4 a 18 días y en agua de lago de 11 a 19 días (Boyd y Hanson, 1958). Las moscas pueden ser capaces de transmitir mecánicamente el VNC, pero aún es incierto si los insectos pueden portar suficiente virus para infectar a las aves de corral. En los Estados Unidos la difusión del VNC fue atribuida a moscas, las cuales vehiculizaron el virus hasta 10 días y a una distancia de muchos kilómetros (Animal Health Australia, 2010). La importancia de la transmisión por artrópodos puede variar con el tipo de alojamiento y manejo de la explotación de aves (Spickler et al., 2008).

Otras de las posibles vías de difusión del VNC puede ser a través del agua, concretamente esta vía es importante en la diseminación del virus en establecimientos con una bioseguridad deficiente (Awan et al., 1994).

#### *I-1.3.2.e. Vía aerógena*

La vía aerógena es otra de las rutas de transmisión del virus que es fundamental considerar. El viento se describió como un mecanismo de difusión en Reino Unido en la década del 60 y a principios de los 70 (Dawson, 1973), y en Irlanda en 1973 (McFerran, 1989). Sin embargo hay disparidad de opiniones al respecto ya que

algunos autores indican la baja importancia de la difusión aerógena en los brotes en Nigeria, Sur de EEUU y California (Siccardi, 1966; Grass, 1971; Utterback y Schwartz, 1973; Lancaster, 1975), y no consideran esta vía como una de las principales en la difusión del VNC (MAF, 2001).

#### **I-1.4. Periodo de incubación, signos clínicos, alteraciones patológicas, mortalidad y morbilidad del VNC**

##### I-1.4.1. Periodo de incubación

El período de incubación en las aves de corral varía de 2 a 15 días dependiendo de la virulencia de la cepa y la susceptibilidad de la población. En pollos infectados con cepas velogénicas es de 3 a 6 días (Beard y Hanson, 1981). Períodos de incubación de hasta 25 días, se han registrado en algunas especies de aves (Beard y Hanson, 1981; Alexander, 1991). El período de incubación establecido por el Código Terrestre de la OIE es de 21 días (OIE, 2012b).

##### I-1.4.2. Signos clínicos

Los signos clínicos varían según la patogenicidad de la cepa y la especie de ave. En pollos, las cepas lentogénicas generalmente causan infecciones subclínicas o una leve afección respiratoria con tos, jadeo, estornudos y rales. Las cepas mesogénicas pueden causar enfermedad respiratoria aguda y signos neurológicos en algunos pollos, pero la tasa de mortalidad es generalmente baja. Las cepas lentogénicas o mesogénicas pueden producir síntomas más severos si las aves son co-infectadas con otros patógenos (Spickler et al., 2008).

Las cepas velogénicas en pollos causan enfermedad grave y a menudo mortal. Los síntomas clínicos son muy variables. La mayoría de las aves están letárgicas e inapetentes y las plumas pueden estar erizadas. El enrojecimiento de la conjuntiva y el edema pueden ser un síntoma temprano. Algunas aves desarrollan diarrea acuosa, verde o blanca, signos respiratorios (incluyendo cianosis) o inflamación de los tejidos de la cabeza y el cuello. También pueden observarse signos neurológicos tales como temblores, espasmos clónicos, paresia o parálisis de las alas y/o patas, tortícolis y marcha en círculos. La producción de huevos a menudo disminuye drásticamente y los huevos pueden ser deformes, de color anormal, ásperos, o de cáscara delgada y con

albúmina acuosa. También es común la muerte súbita, con poco o ningún signo clínico. Las aves que sobreviven más de dos semanas pueden quedar con un daño neurológico permanente y/o una disminución permanente en la producción de huevos. Todos estos síntomas descritos pueden ser de menor gravedad en las aves que están vacunadas (Flensburg, 2001). Síntomas clínicos similares se observan en otras especies de aves, sin embargo, ya sea los signos neurológicos o los respiratorios pueden predominar dependiendo de la especie.

La ENC es en general más leve en los pavos que en los pollos, pero algunas cepas del VNC pueden causar una enfermedad grave en pavos. Se pueden observar signos clínicos graves en las aves de caza, particularmente en faisanes; en los que se han registrado signos respiratorios en algunos brotes. Las gallinas de guinea también pueden enfermar, pero también pueden ser portadoras de cepas velogénicas de forma subclínica (Spickler et al., 2008).

En aves psitácidas, la ENC puede ser aguda, subaguda, crónica o inaparente. Los signos clínicos son muy variables y pueden incluir signos respiratorios y/o neurológicos, así como también diarrea y muerte súbita. Los signos respiratorios suelen presentarse en avestruces, aunque en estas aves suelen verse menos afectadas que los pollos. En palomas se observan diarrea, polidipsia, conjuntivitis y signos neurológicos. Los signos neurológicos como la incapacidad de coordinar el vuelo, y en ocasiones la muerte súbita es frecuente en aves rapaces. Los gansos y patos, por lo general, presentan infecciones es subclínicas (con la mayoría de las cepas), pero en ocasiones se observan signos neurológicos, diarrea, anorexia y muerte súbita. Los síntomas respiratorios son poco frecuentes en las aves acuáticas.

En otras especies, como en las colonias de cormoranes la enfermedad se caracteriza por presentar signos neurológicos y, casi siempre, se limitan a los animales jóvenes. Las aves afectadas tienen una parálisis de una o ambas patas y/o alas, incoordinación, temblores, tortícolis y/o cabeza gacha. Otras aves como las gaviotas y pelícanos blancos jóvenes enfermos se observaron cerca de las colonias de cormoranes afectadas. Los pelícanos enfermos pueden presentar signos neurológicos similares a los de los cormoranes, como parálisis/paresia unilaterales o bilaterales de las alas y/o patas, postura caída del cuello y la incapacidad de avanzar, sin embargo, no se ha demostrado que estos síntomas hayan sido causados por el APMV-1.

Además de un aumento de la mortalidad, los únicos signos clínicos reportados en las gaviotas fueron parálisis o paresia de las alas y/o las patas (Spickler et al., 2008).

En la tabla 4 se resumen los signos clínicos predominantes y principales lesiones de los diferentes patotipos del VNC.

Tabla 4. Diferentes patotipos del VNC, signos clínicos predominantes y principales lesiones.

Fuente: Tabla adaptada de Flensburg, 2001.

| Patotipos                    | Signos clínicos   | Lesiones principales  |
|------------------------------|---|---|
| Velogénico<br>viscerotrópico | Mortalidad= 50-100% (normalmente 90%)<br>Muerte súbita sin signos clínicos. La mayoría de las muertes se producen a los 4-8 días.<br>Edema de cabeza, barbillas y tejidos alrededor de los ojos.<br>Respiración aumentada, diarreas, espasmos crónicos, temores musculares. Tortícolis y opistotonos aparecen en aves que sobreviven en la fase inicial de la infección. Parálisis de las piernas y en ocasiones de las alas. | Hemorragia y lesiones necróticas especialmente en el tracto digestivo y en la pared intestinal. Lesiones de tamaño variado desde 15mm.  |
| Velogénico<br>neurotrópico   | Mortalidad= 50-100 %. Pollos inmaduros 90% y en adultos 10-50%. Distrés respiratorio. Cese o baja en la producción de huevos. Signos nerviosos aparecen al día o a los dos días con parálisis de las piernas o alas y tortícolis.   | Exudado catarral en fosas nasales, laringe y tráquea. Ocasionalmente hemorragia traqueal. Engrosamiento de las membranas de uno o más saco aéreo, algunas veces con exudado catarral o caseoso. |
| Mesogénico                   | Mortalidad hasta el 50%. Enfermedad respiratoria aguda. Cese o baja en la producción de huevos por 1 o 3 semanas. La calidad del huevo se ve afectada y algunas de las aves nunca vuelven a la producción habitual. Ocasionalmente signos nerviosos.  | Lesiones similares a las descritas arriba.  |
| Lentogénico                  | Infección respiratoria media o subclínica   | Ninguna   |
| Asintomático<br>entérico     | Infección respiratoria media o subclínica   | Ninguna   |

#### I-1.4.3. Morbilidad y mortalidad del VNC

Las tasas de morbilidad y mortalidad varían mucho dependiendo de la virulencia de la cepa y de la susceptibilidad del huésped. Los virus lentogénicos y mesogénicos

generalmente pueden causar la muerte de algunas aves; en aves de corral, la tasa de mortalidad puede ser del 10 al 50% para las cepas mesogénicas y es insignificante para las cepas lentogénicas. Las enfermedades concurrentes pueden agravar la enfermedad y resultar en una mayor tasa de mortalidad. Por el contrario, las cepas velogénicas tienen tasas de morbilidad y mortalidad de hasta el 100% en pollos no vacunados.

Algunas cepas pueden afectar a las aves jóvenes con mayor severidad. A pesar que las aves de corral vacunadas tienden a tener infecciones más leves hay ejemplos donde las tasas de mortalidad fueron mayor al 99% como en una epidemia que afectó a los pollos vacunados en Nigeria (Sa'idu y Abdu, 2008).

Otras especies de aves suelen verse menos afectadas que los pollos. Aunque las cepas velogénicas pueden matar hasta el 100% de faisanes infectados experimentalmente, algunas aves individuales pueden ser resistentes a la enfermedad. La tasa de mortalidad notificada durante los brotes en Dinamarca en el año 1996 en faisanes fue muy variable, del 22% al 77% (Jørgensen et al., 1999). Sin embargo, en otro brote en el Reino Unido, la tasa de mortalidad fue inferior al 3%, incluso en las granjas más gravemente afectadas (Aldous et al., 2007).

En las gallinas de guinea, la tasa de mortalidad fue del 24% durante un brote en Nigeria (Haruna et al., 1993) y cercana al 100% en aves experimentalmente infectadas (dependiendo de la cepa del virus) (Okoye y Okpe, 1989). En otras especies como en las avestruces, tasas de mortalidad del 28% se han registrado en un brote en Israel (Samberg et al., 1989) y mortalidades mucho más inferiores han sido notificadas (Allwright, 1996).

La ENC es inusualmente grave en aves acuáticas, sin embargo, algunas cepas velogénicas que circulan en China tienen, en general, una tasa de morbilidad del 17,5% y una tasa de mortalidad del 9% en los gansos. La importancia que tienen estas aves es debido a que pueden actuar portadores y sobre todo como difusoras de la enfermedad.

El APMV-1 es endémico en las palomas en muchos países. En estas aves cuando son infectadas experimentalmente con las cepas altamente virulentas tienen tasas de





morbilidad de hasta el 70% y tasas de mortalidad que pueden ser del 40% (Vindevogel et al., 1982).

Las cepas velogénicas son endémicas en los cormoranes, aunque las aves adultas, parecen no desarrollar signos clínicos o morir. La estimación de la mortalidad durante varios brotes ocurridos en Estados Unidos en 1992 en cormoranes juveniles osciló de 4 a 92% (Glaser et al., 1999) y hasta un 90% de los pelícanos blancos jóvenes (Spickler et al., 2008). Incluso algunos pelícanos cercanos a estas colonias murieron en algunos brotes, sin embargo, no fue demostrado que la enfermedad en los pelícanos haya sido causada por el APMV-1.

### **I-1.5. Diagnóstico**

#### I-1.5.1. Diagnóstico clínico-patológico

El diagnóstico clínico presuntivo es muy difícil de realizar, sobre todo cuando la enfermedad es producida por cepas de virus que solo afectan al aparato respiratorio, sin producir lesiones nerviosas ni digestivas, por lo que el diagnóstico definitivo deberá realizarse por el aislamiento del VNC en el laboratorio (Moreno; 1994).

#### I-1.5.2. Diagnostico diferencial

La ENC debe diferenciarse de muchas enfermedades que afectan a las aves, principalmente enfermedades virales que también afectan al sistema respiratorio como bronquitis infecciosa, laringotraqueitis, enfermedad respiratoria crónica, coriza infecciosa, cólera aviar, influenza aviar de alta patogenicidad, viruela aviar (forma diftérica), psitacosis, micoplasmosis, aspergilosis, y enfermedad de Pacheco del papagayo (Moreno, 1994; OIE, 2009).

El déficit de agua y alimento, errores de manejo y una pobre ventilación pueden causar síntomas similares a la ENC (OIE, 2009).

#### I-1.5.3. Diagnóstico de laboratorio

El diagnóstico de laboratorio es el método de elección para poder aislar el VNC y posteriormente caracterizar la cepa. La ENC puede diagnosticarse en el laboratorio,



aislando el virus en un sistema biológico como el embrión de pollo o en monoestratos de células, identificando el virus luego con un método serológico apropiado, como la inhibición de la hemoaglutinación (IH) o la seroneutralización (SN). La detección del virus por reacción en cadena de la polimerasa de transcriptasa inversa (RT-PCR) es un método más sensible que la detección por aislamiento del virus, sobre todo cuando la infección esta avanzada y cuando los anticuerpos están en aumento (Jørgensen et al. 2006)

Cuando no es posible realizar el diagnóstico anterior mediante el aislamiento de laboratorio, se deberá intentar el diagnóstico serológico, identificando al anticuerpo y valorando comparativamente los títulos de anticuerpos de la fase inicial y/o aguda de la enfermedad, con los títulos de anticuerpos de la fase convaleciente. La identificación y evaluación de los niveles de anticuerpos se puede realizar con las pruebas de laboratorio de IH, SN o Elisa.

Otras pruebas de laboratorio que pueden utilizarse para el diagnóstico de la enfermedad son: seroneutralización en placas, inmunodifusión, fijación del complemento e inmunofluorescencia (Moreno, 1994).

#### **I-1.6. Vacunación contra el VNC**

Las vacunas del VNC generan inmunidad contra la infección y la replicación del virus (Alexander, 1997). La vacunación protege contra las consecuencias serias de la infección de la ENC ya que los signos clínicos disminuyen en relación con los anticuerpos logrados. Sin embargo las cepas virulentas del VNC siguen infectando, replicando y son excretados por las aves vacunadas (Capua et al., 1993). Cepas virulentas del VNC siguen presentes en los tejidos y los órganos de aves vacunadas que aparentan estar sanas. Las vacunas del VNC pueden ser vivas o inactivadas. Las vacunas vivas pueden ser lentogénicas o mesogénicas. Las cepas lentogénicas son usualmente usadas en pollitos muy jóvenes. Tres cepas lentogénicas como B1, F y La Sota son usadas en pollitos muy jóvenes sin que estos se vean afectados. Cepas mesogénicas son usadas en aves en crecimiento y adultas.

En la tabla 5 se describen las cepas de vacunas vivas, el índice de patogenicidad intracerebral (ICPI), el índice de patogenicidad intravenoso (IVPI) y las rutas de administración usuales.

Tabla 5. Vacunas vivas de NC utilizadas. Fuente: Lalita Rani Barman,  
(<http://www.smallstock.info/index.htm>)

| Virus       | Patotipo    | ICPI | IVPI | Origen   | U.R.       | R.A.                    |
|-------------|-------------|------|------|--|------------|-------------------------|
| Cepa H      | Mesogénico  | 1.4  | 0.0  | Laboratorio atenuado por pasaje en huevos              | Secundaria | im, sc                  |
| Mukteswar   | Mesogénico  | 1.4  | 0.0  | Laboratorio atenuado por pasaje en huevos              | Secundaria | im, sc                  |
| Komarov     | Mesogénico  | 1.4  | 0.0  | Laboratorio atenuado por pasaje intracerebral en patos | Secundaria | im, sc, io              |
| Roakin      | Mesogénico  | 1.45 | 0.0  | Aislamiento en campo                                   | Secundaria | im, ww                  |
| La Sota     | Lentogénico | 0.4  | 0.0  | Aislamiento en campo                                   | Secundaria | in, do, dw, sp, aer     |
| F (Asplin)  | Lentogénico | 0.25 | 0.0  | Aislamiento en campo                                   | Primaria   | in, do, dw, sp, aer     |
| Hitchner B1 | Lentogénico | 0.2  | 0.0  | Aislamiento en campo                                   | Primaria   | in, do, dw, sp, aer, bd |
| V4          | Lentogénico | 0.0  | 0.0  | Aislamiento en campo                                   | Primaria   | in, io, sp, aer, oral   |

ICPI: Índice de patogenicidad intracerebral, IVPI: Índice de patogenicidad intravenosa U.R.: Uso recomendado, R.A.: rutas de administración, aer:aerosol, bd:inmersión del pico, Dw:agua de bebida, im:intramuscular, in:intranasal, io:intraocular, oral: en comida, sc:subcutánea, sp:spray de gota gruesa, ww:en Ala

Las vacunas inactivadas son usualmente producidas con fluido alantoideo tratado con betapropiolactona o formalina para matar el virus y mezclada con adyuvantes. Varias semillas madres de virus usadas en la producción de emulsión de aceite incluyen Ulster 2C, B1, La Sota, Roakin y otros virus. Uno o más antígenos (como bronquitis infecciosa aviar, bursitis infecciosa) pueden incorporarse a la emulsión con el VNC (Alexander, 1997).

Cada país tiene una legislación diferente sobre el uso y el control de calidad de las vacunas, dependiendo del estatus sanitario y del objetivo final del uso de las vacunas. En algunos casos, por ejemplo, en Dinamarca, Noruega y Suecia la vacunación contra el VNC está prohibida. La vacunación en la Rep. Argentina se describe en la sección I-4.6.

## **I-2. POBLACIÓN AVÍCOLA MUNDIAL E IMPORTANCIA DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA**

---

### **I-2.1. Población avícola mundial**

El mercado mundial en el 2010 fue de 95 millones de toneladas de carne de ave, 100 millones de toneladas de carne de cerdo, 62 millones de toneladas de huevo y 60 millones para la carne vacuna. A su vez, la población mundial para entonces fue de 6.000 millones de habitantes y para el 2030 se estima un incremento del 20% equivalente a 1.200 millones (IICA–Senasa, 2010). Para esa fecha se espera un aumento de la demanda del 23% en carne de aves, por lo tanto se estima que para esa época, la carne aviar seguirá siendo, junto con la del cerdo, la más consumida en el mundo (IICA–Senasa, 2010).

Con respecto a la producción de huevos, el crecimiento será mayor, puesto que se espera un 20% de aumento en la demanda para el 2015; es decir, en un período más corto de tiempo. Se espera que solamente cuatro países puedan satisfacer esta demanda: Brasil, Argentina, EEUU y Ucrania, dado que la producción de maíz y soja están por encima del consumo interno de esos países y por lo tanto tienen excedentes disponibles.

Los principales países productores, consumidores, importadores y exportadores de carne aviar a nivel mundial se describen en la tabla 6, 7, 8 y 9, respectivamente. Los principales países productores de gallinas y huevos a nivel mundial se describen en la tabla 10.

Tabla 6. Principales países productores de carne aviar, en millones de toneladas. Fuente: Lamelas, 2010.

| País          | Año 2010 (millones de toneladas) |
|---------------|----------------------------------|
| EEUU          | 16,3                             |
| China         | 12,6                             |
| Brasil        | 11,4                             |
| Unión Europea | 8,9                              |
| Méjico        | 2,8                              |
| Rusia         | 2,0                              |
| Argentina     | 1,6                              |
| Tailandia     | 1,3                              |

Tabla 7. Principales países consumidores de carne aviar, en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de El mercado de la carne aviar en los países del CAS, 2010.

| País           | 2008          | 2009          | 2010*         | %**        |
|----------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| EEUU           | 13.427        | 13.058        | 13.402        | 18         |
| China          | 11.954        | 12.220        | 12.606        | 17         |
| Unión Europea  | 8.504         | 8.610         | 8.640         | 12         |
| Brasil         | 7.792         | 7.831         | 8.076         | 11         |
| Méjico         | 3.289         | 3.290         | 3.377         | 5          |
| Rusia          | 2.744         | 2.665         | 2.795         | 4          |
| India          | 2.489         | 2.549         | 2.649         | 4          |
| Japón          | 1.926         | 1.960         | 1.960         | 3          |
| Irán           | 1.460         | 1.539         | 1.614         | 2          |
| África del Sur | 1.340         | 1.382         | 1.424         | 2          |
| Otros          | 15.807        | 16.068        | 16.611        | 22         |
| <b>Total</b>   | <b>70.732</b> | <b>71.172</b> | <b>73.154</b> | <b>100</b> |

\* Estimado

\*\* Porcentaje que representa cada país con los datos del 2009



Tabla 8. Principales países importadores, en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de El mercado de la carne aviar en los países del CAS, 2010.

| País            | 2008         | 2009         | 2010*        | %**        |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| Rusia           | 1.159        | 855          | 820          | 11         |
| Unión Europea   | 712          | 710          | 710          | 9          |
| Japón           | 737          | 700          | 680          | 9          |
| Arabia Saudita  | 510          | 625          | 650          | 8          |
| Méjico          | 447          | 490          | 505          | 7          |
| China           | 399          | 370          | 360          | 5          |
| Emiratos Árabes | 289          | 290          | 290          | 4          |
| Irak            | 211          | 265          | 290          | 4          |
| Hong Kong       | 236          | 250          | 260          | 3          |
| Venezuela       | 352          | 230          | 240          | 3          |
| Otros           | 2.752        | 2.788        | 2.909        | 38         |
| <b>Total</b>    | <b>7.804</b> | <b>7.573</b> | <b>7.714</b> | <b>100</b> |

\* Estimado

\*\* Porcentaje que representa cada país con los datos del 2009

Tabla 9. Exportación mundial en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de El mercado de la carne aviar en los países del CAS, 2010.

| País          | 2008         | 2009         | 2010*        | %**        |
|---------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| Brasil        | 3.242        | 3.150        | 3.345        | 40         |
| EEUU          | 3.157        | 2.997        | 2.858        | 34         |
| Unión Europea | 743          | 720          | 720          | 9          |
| Tailandia     | 383          | 385          | 420          | 5          |
| China         | 285          | 250          | 254          | 3          |
| Argentina     | 164          | 174          | 204          | 2          |
| Canadá        | 152          | 147          | 153          | 2          |
| Chile         | 63           | 110          | 125          | 1          |
| Kuwait        | 70           | 70           | 70           | 1          |
| Jordania      | 20           | 37           | 40           | 0          |
| Otros         | 139          | 143          | 150          | 2          |
| <b>Total</b>  | <b>8.418</b> | <b>8.183</b> | <b>8.339</b> | <b>100</b> |

\* Estimado

\*\* Porcentaje que representa cada país con los datos del 2009



Tabla 10. Principales países productores de gallinas (1.000 cabezas) y principales productores de huevos (1.000 toneladas). Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO, 2009.

| País      | Número total de gallinas<br>(1.000 cabezas) | País      | Producción de huevos<br>(1.000 toneladas) |
|-----------|---|-----------|---|
| China     | 4702.670                                    | China     | 27.899                                    |
| E.E.U.U.  | 2.100.000                                   | E.E.U.U.  | 5.339                                     |
| Indonesia | 1.341.780                                   | India     | 3.060                                     |
| Brasil    | 1.234.220                                   | Japón     | 2.505                                     |
| India     | 613.000                                     | México    | 2.337                                     |
| Irán      | 513.000                                     | Rusia     | 2.210                                     |
| México    | 510.000                                     | Brasil    | 1.939                                     |
| Rusia     | 366.282                                     | Indonesia | 1.306                                     |
| Pakistán  | 295.000                                     | Ucrania   | 925                                       |
| Japón     | 285.349                                     | Francia   | 918                                       |

### I-2.2. Población avícola doméstica en la República Argentina

La Rep. Argentina cuenta actualmente con una avicultura muy desarrollada. Concretamente, es a partir de los años 1960 cuando comienza a ser intensiva y se constituye en una industria de gran importancia económica para el país, concretamente en la segunda industria de producción de animales vivos después del ganado bovino (Análisis de riesgo de EEUU, 2004).

Actualmente la Rep. Argentina es el 7º productor y 5º exportador mundial de productos avícolas, con una población promedio de 142 millones de aves industriales según datos del año 2010 (Lamelas, 2010). La avicultura en la Rep. Argentina exporta aves y productos a más de 60 países dado que cumple con los requisitos higiénico-sanitarios, de trazabilidad y de calidad de los mercados más exigentes, incluyendo la Unión Europea (UE), Estados Unidos, Canadá y Japón (IICA–Senasa, 2010). Por ese motivo, la introducción de la ENC provocaría importantes consecuencias económicas y sanitarias para el país, debido, fundamentalmente a los embargos y restricciones comerciales al comercio internacional de las aves y productos avícolas.

La producción de carne aviar en la Rep. Argentina, en su mayoría pollos de engorde, ha mostrado una expansión dinámica y creciente durante los últimos años, durante el año 2010 la producción de pollos y huevos de Argentina mostró un crecimiento de 6,3% y 4% respectivamente en relación al año 2009 (Lamelas, 2010) (Figura 3). Esto marca una tendencia positiva de crecimiento ininterrumpido luego de la crisis

financiera que se produjo en el año 2000. La disponibilidad y el acceso a los granos, principales componentes del costo de producción del pollo, representan una ventaja a la hora de producir.

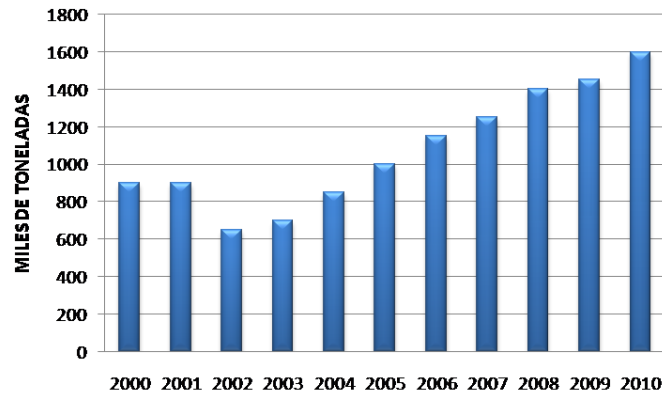


Figura 3 .Evolución de la producción de carne aviar en la Rep. Argentina durante desde el año 2000 al 2010, en miles de toneladas. Fuente: Elaboración propia con datos de Lamelas, 2010

El consumo aparente total de carne aviar registró en 2010 un aumento de 4% en relación con el del año 2009. Por su parte, el consumo per cápita alcanzó 34,4 kg/persona/año, + 3,1% (Lamelas, 2010) (Tabla 11).

En la Rep. Argentina, el consumo de pollo ha sido incorporado como aporte proteico en la dieta. En relación con otras carnes, durante 2010 el consumo de carne bovina disminuyó 15%, y el de la carne porcina aumentó 3,8% con respecto al año 2009 (Lamelas, 2010).





Tabla 11. Consumo per cápita de carne aviar en la Rep. Argentina. Año 2009-2010. Fuente: Lamelas, 2010.

| Mes                     | 2009<br>Kg/cáp/año | 2010<br>Kg/cáp/año | Dif.2010/2009<br>% |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Enero                   | 33,6               | 30,58              | -7,51              |
| Febrero                 | 33,19              | 33,06              | -0,40              |
| Marzo                   | 32,82              | 33,13              | 0,97               |
| Abril                   | 34,04              | 33,17              | -2,56              |
| Mayo                    | 31,46              | 30,33              | -3,61              |
| Junio                   | 34,49              | 35,82              | 3,84               |
| Julio                   | 33,67              | 33,89              | 0,66               |
| Agosto                  | 30,19              | 33,79              | 11,93              |
| Septiembre              | 33,88              | 37,02              | 9,27               |
| Octubre                 | 34,50              | 33,70              | -2,34              |
| Noviembre               | 34,28              | 38,67              | 12,83              |
| Diciembre*              | 34,86              | 39,52              | 13,36              |
| <b>PROMEDIO ANUAL *</b> | <b>33,4</b>        | <b>34,4</b>        | <b>3,1</b>         |

\*Datos provisorios

El 72% de las granjas avícolas se dedican a la producción de pollos de engorde, el 21% a la producción de huevos para consumo y el 7% restante a la reproducción de las diferentes líneas genéticas, según los datos registrados en el 2010 (IICA-Senasa, 2010) (Tabla 12).

Tabla 12. Número total de establecimientos avícolas comerciales por provincia, 2010. Fuente: IICA-Senasa, 2010.

| Provincia           | Cantidad de establecimientos |                              |               |                       |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|
|                     | Pollos de engorde            | Gallinas de postura (huevos) | Reproductores | Plantas de incubación |
| ENTRE RIOS          | 2.262                        | 271                          | 124           | 20                    |
| BUENOS AIRES        | 1.235                        | 459                          | 149           | 27                    |
| SANTA FE            | 174                          | 106                          | 47            | 13                    |
| CORDOBA             | 105                          | 76                           | 15            | 6                     |
| MENDOZA             | 61                           | 80                           | 9             | 0                     |
| RIO NEGRO y NEUQUÉN | 41                           | 41                           | 2             | 1                     |
| RESTO DEL PAÍS      | 39                           | 76                           | 10            | 3                     |
| <b>TOTAL</b>        | <b>3.917</b>                 | <b>1.109</b>                 | <b>356</b>    | <b>70</b>             |



Los datos de la cantidad de aves por provincia y de la densidad por provincia de los últimos años registrados desde el 2009 hasta el 2011 (OIE, 2012c) están representados en la tabla 13 y figura 4.

Tabla 13. Datos de cantidad de aves y densidad por provincia en la Rep. Argentina, años 2009-2010-2011. Fuente: Elaboración propia con datos del WAHID (OIE, 2012c).

| Provincia           | 2009               |               | 2010               |               | 2011               |               |
|---------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                     | Cantidad de aves   | Densidad*     | Cantidad de aves   | Densidad*     | Cantidad de aves   | Densidad*     |
| BUENOS AIRES        | 287.581.209        | 932.32        | 295.446.259        | 957.82        | 317.156.564        | 1 028.21      |
| CAPITAL FEDERAL     | S/D                | S/D           | 0                  | 0.00          | 0                  | 0             |
| CATAMARCA           | 120.000            | 1.29          | 120.000            | 1.29          | S/D                | S/D           |
| CHACO               | 228.500            | 0.91          | 0                  | 0.00          | 0                  | 0             |
| CHUBUT              | 34.203.700         | 217.24        | 212.000            | 0.84          | 260.500            | 1.04          |
| CORDOBA             | 370.000            | 4.48          | 37.644.800         | 239.10        | 37.749.450         | 239.76        |
| CORRIENTES          | 258.592.128        | S/D           | 370.000            | 4.48          | 390.000            | 4.72          |
| ENTRE RIOS          | S/D                | S/D           | 259.074.928        | 3453.69       | 278.764.128        | 3 716.16      |
| FORMOSA             | S/D                | S/D           | 0                  | 0.00          | 25.000             | 0.37          |
| JUJUY               | 1.218.100          | 25.89         | 1.192.500          | 25.34         | 1.311.550          | 27.87         |
| LA PAMPA            | S/D                | S/D           | 0                  | 0.00          | 55.000             | 0.38          |
| LA RIOJA            | 350.000            | 4.12          | 350.000            | 4.12          | 362.000            | 4.26          |
| MENDOZA             | 8.871.400          | 60.53         | 8.821.400          | 60.19         | 10.061.750         | 68.65         |
| MISIONES            | S/D                | S/D           | 0                  | 0.00          | 48.000             | 1.75          |
| NEUQUEN             | 3.332.150          | 33.93         | 3.260.400          | 33.20         | 3.628.975          | 36.96         |
| RIO NEGRO           | 12.167.400         | 56.67         | 14.551.600         | 67.78         | 13.341.750         | 62.14         |
| SALTA               | 1.857.000          | 13.42         | 1.852.000          | 13.38         | 1.956.500          | 14.14         |
| SAN JUAN            | 874.500            | 10.39         | 874.500            | 10.39         | 896.850            | 10.65         |
| SAN LUIS            | 394.000            | 5.34          | 394.000            | 5.34          | 410.000            | 5.55          |
| SANTA CRUZ          | S/D                | S/D           | 0                  | 0.00          | 5.000              | 0.02          |
| SANTA FE            | 27.530.810         | 219.57        | 24.229.880         | 193.24        | 27.363.185         | 218.23        |
| SANTIAGO DEL ESTERO | 490.700            | 3.91          | 420.700            | 3.36          | 539.700            | 4.3           |
| TIERRA DEL FUEGO    | S/D                | S/D           | 0                  | 0.00          | 0                  | 0             |
| TUCUMAN             | 650.000            | 31.73         | 685.000            | 33.44         | 690.000            | 33.68         |
| <b>TOTALES</b>      | <b>638.831.597</b> | <b>230.88</b> | <b>649.499.967</b> | <b>234.74</b> | <b>695.170.902</b> | <b>251.25</b> |

\*Densidad: cantidad de aves por kilometro cuadrado, S/D: Sin datos

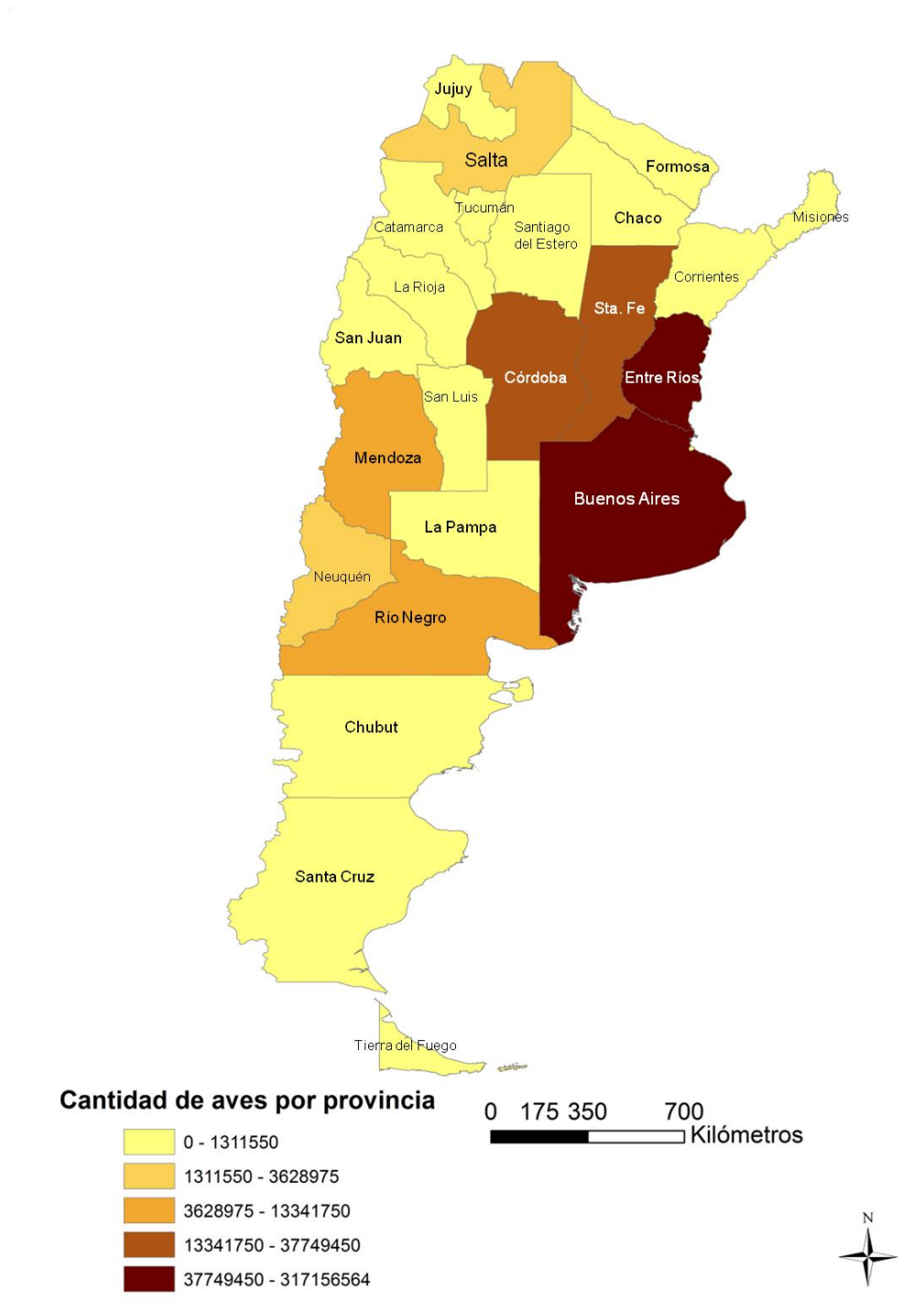


Figura 4. Cantidad de aves por provincia en la Rep. Argentina, año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE/WHID (OIE, 2012c) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

Los dos grandes sectores que tiene el negocio de la producción avícola en la Argentina pueden dividirse en la producción de pollos para carne (pollos de engorde) y la producción de huevo para consumo.

#### I-2.2.1. Sistema de producción avícola de carne

En este tipo de producción se reciben a los pollitos bebé de un día y comienza la cría de 2 semanas de duración y luego el engorde por un período de 5 semanas. Como los requerimientos de terminación del pollo difieren en los mercados, existen granjas para la exportación y para el consumo doméstico. Con un buen manejo, se pueden hacer siete crianzas por año para el mercado de exportación que demanda un pollo de 1,4 a 1,5 kg. y cinco a seis crianzas anuales para el consumidor doméstico, que requiere un pollo más grande. El productor integrado que brinda el alojamiento, el engorde y la estadía a los pollitos destinados a la exportación, debe entregar a los 37 días (como máximo) su producción. El productor que se dedica al mercado doméstico, tarda 50 días para la crianza y engorde, con un peso que ronda los 2,7 kg (vivo) y luego de la faena el peso promedio del pollo se reduce aproximadamente un 20%. Los pollos ingresan a este sistema con un peso aproximado de entre 45 y 50 gramos en naves, que dependiendo del tamaño de los mismos, albergan entre 10.000 y 15.000 pollos a una densidad de 10 aves por metro cuadrado.

El sistema de producción de reproductoras pesadas es un sistema donde se reciben los pollitos bebé de un día, provenientes de incubadoras de distintas líneas genéticas de abuelos (reproductoras pesadas) o padres (reproductoras livianas). Los animales se crían a piso, instalándose machos y hembras en proporción de aproximadamente macho cada 4-5 hembras, dependiendo de la línea genética, peso promedio y otros factores de manejo reproductivo que varían esta relación. La producción de huevos fértiles, que posteriormente irán a las incubadoras, se realiza en nidos manuales o automáticos especialmente diseñados para tal fin. La recolección de huevos se realiza de tres a cuatro veces por día.

En el sistema de reproductoras pesadas, en el 2009 y parte del 2010 se ve incrementada la oferta de pollitos bebé en un 15% en base a los abuelos ingresados en el 2008 con respecto al 2009. Se estima un 3% de aumento de ingreso de abuelas del período 2009 con respecto al 2008. Con respecto a las reproductoras livianas, en el 2009 hubo un 20% mayor de ingreso.

#### I-2.2.2. Sistema de producción avícola de huevos

Se reciben, según opción de producción, pollitos hembras bebé o pollos hembras criadas de 16 semanas de edad en promedio. En cualquiera de los casos, el sistema de producción será en total confinamiento en jaulas y con régimen de luz controlado. Se espera que, de media, las gallinas comiencen la puesta a las 18 semanas de vida y produzcan a razón de valores promedios de 300 huevos por año/gallina en un primer ciclo. Estos datos varían según el tipo de gallina utilizada, ya sea para huevo de color o huevo blanco. Normalmente y según el tipo de manejo, cada ponedora puede mantenerse en producción 1 año, con opción a un segundo ciclo de un año más, después de realizarse el "replume" de las aves seleccionadas. Luego, el ave es destinada para la faena y convertida en caldo de gallina para exportar a Europa.

La producción anual de huevos en el 2009 alcanzó los 302 mil millones de cajones (un 6% más respecto al año anterior) que son producidos por unas 40 millones de gallinas ponedoras. Este cálculo se basa en considerar un 50% de aves replumadas para un segundo ciclo (Senasa, 2010).

Los índices de este sector han crecido sostenidamente en la última década. En 2009, el número de gallinas en postura fue de 40 millones (20 millones en 1999), la producción de huevos fue de 900 millones de docenas (417 millones en 1999) y el consumo de huevos por habitante fue de 267 por año (12 en 1999). En la tabla 14 se describe la producción de huevos y el consumo aparente por habitante durante los años 2004 al 2008 para la Rep. Argentina.

En el 2010 hubo cinco empresas argentinas que procesaron huevo principalmente en la forma de huevo en polvo. La mayor parte del producto y subproductos se destina a la exportación, a países como Alemania, Angola, Austria, Bélgica, Bulgaria, Cuba, Colombia, Chile, Dinamarca, Egipto, Emiratos Árabes, Gambia, Holanda, Italia, Israel, Japón, Marruecos, Rusia, Uruguay y Vietnam.

Tabla 14. Producción y consumo aparente de huevos en la Rep. Argentina. Años 2004-2008.

Fuente: Cámara Argentina de Productores Avícolas.

| Huevos           | Unidad de medida         | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| Producción       | Millones de docenas      | 539  | 600  | 646  | 696  | 730  |
| Consumo aparente | Huevos / habitante / año | 169  | 179  | 186  | 199  | 205  |

En la Figura 5 están representadas las granjas avícolas de producción de carne y producción de huevos en la Rep. Argentina.

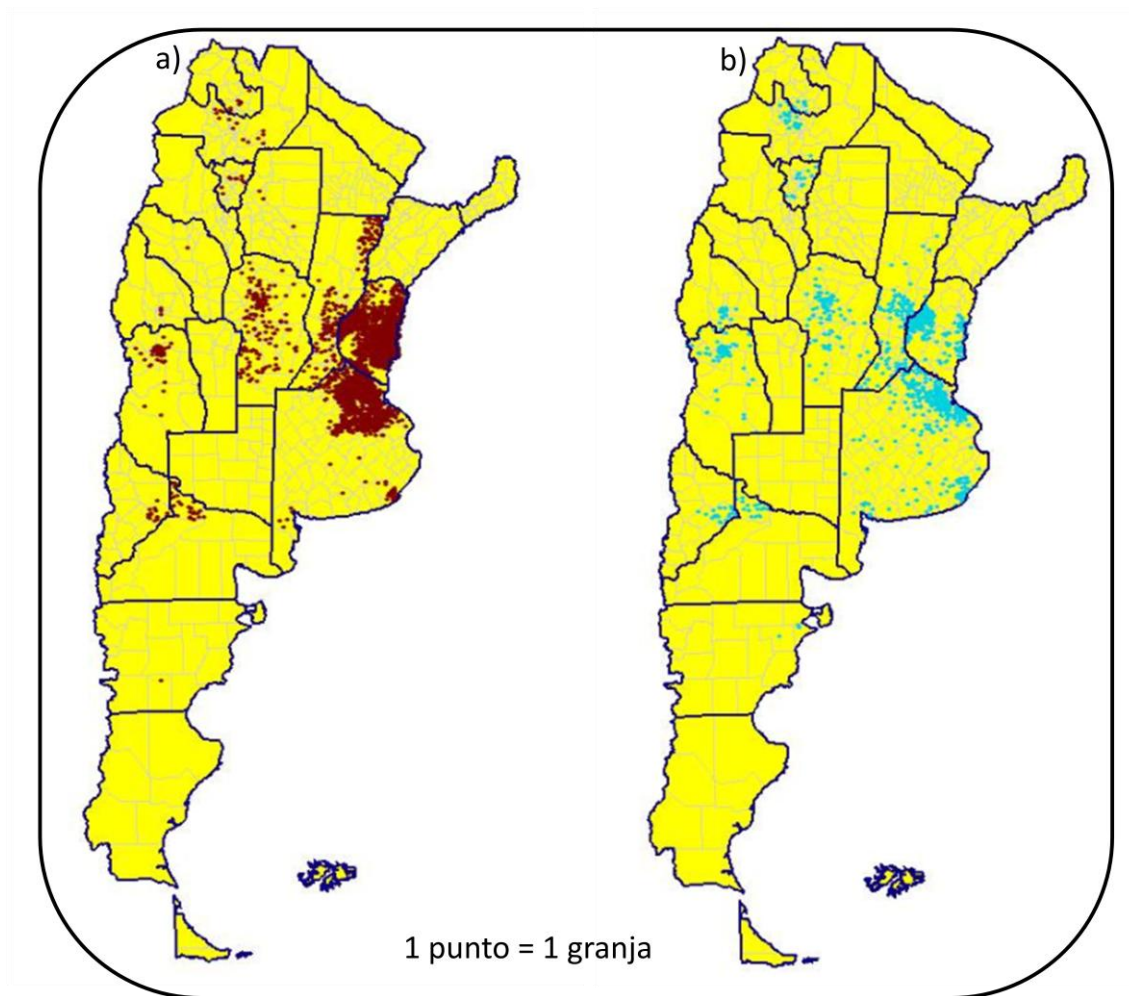


Figura 5. Distribución de granjas avícolas de (a) producción de carne, y (b) producción de huevos. Fuente: Adaptado de [www.senasa.gov.ar](http://www.senasa.gov.ar), último acceso mayo 2012.

#### I-2.2.3. Otras producciones comerciales de aves

En la Rep. Argentina también existen explotaciones de aves como patos, pavos, faisanes, codornices o ratites en un número reducido y sin producción industrial en gran escala. Los productos de este tipo de aves se utilizan para una comercialización interna y la venta se realiza en forma temporal y a lugares muy específicos por lo que la importancia que tienen en el comercio no es significativa. En la tabla 15 se detalla la cantidad estimada de patos, gansos, faisanes y pavos en la Rep. Argentina desde el año 2000 al 2009.

Tabla 15. Cantidad estimada de patos, gansos, faisanes y pavos en la Rep. Argentina, en miles de cabezas desde el año 2000 al 2009. Fuente: FAOSTAT, 2012.

| Especie           | Años  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  |
| Patos             | 2.300 | 2.300 | 2.350 | 2.355 | 2.355 | 2.355 | 2.400 | 2.450 | 2.450 | 2.450 |
| Gansos y Faisanes | 130   | 130   | 135   | 140   | 140   | 140   | 140   | 150   | 150   | 150   |
| Pavos             | 2.800 | 2.800 | 2.850 | 2.900 | 2.900 | 2.900 | 2.900 | 2.950 | 2.950 | 2.950 |

#### I-2.2.4. Aves de traspatio o de producción familiar

La población avícola de traspatio estimada es de 4 millones de aves distribuidas por todo el país según los datos del SENASA en el 2002. Muchas de estas aves tienen origen en la producción comercial, son remanentes o descartes de plantas de incubación o gallinas de fin de ciclo. Existen también planes sociales (nacionales, provinciales y municipales) que entregan a familias de escasos recursos gallinas o pollos para autoconsumo.

Por lo general este sector de la avicultura no tiene una supervisión veterinaria, no implementa medidas de bioseguridad y el riesgo de contacto con el virus de NC podría ser mayor comparado con las aves mantenidas en instalaciones cerradas y con adecuadas medidas de bioseguridad. Sin embargo, en la Rep. Argentina estas aves no se trasladan ni se comercializan, son para autoconsumo, por lo que no existen mercados de aves vivas donde se faenen las aves y el número de aves por familia es insignificante comparado con los establecimientos avícolas industriales. Por lo tanto, podría suponerse que, si bien la avicultura de traspatio significa un riesgo para el ingreso y/o permanencia del VNC, éste es menor y tendría mucho menor impacto económico que si se infectase la producción avícola comercial en gran escala (IICA, 2010).

#### I-2.2.5. Plantas de faena

Durante el año 2010, 52 plantas de faena de aves operaron bajo el control de Senasa, mientras que para el año anterior lo habían hecho 50 plantas (Tabla 16).

Tabla 16. Cantidad de plantas de faena por provincia en la Rep. Argentina, año 2009 y 2010.

Fuente: Lamelas, 2010.

| Provincia    | 2009      | 2010      |
|--------------|-----------|-----------|
| Buenos Aires | 22        | 25        |
| Entre Ríos   | 15        | 15        |
| Córdoba      | 3         | 3         |
| Santa Fe     | 7         | 7         |
| Río Negro    | 1         | 1         |
| Mendoza      | 1         | 1         |
| Neuquén      | 1         | 0         |
| <b>Total</b> | <b>50</b> | <b>52</b> |

### I-2.3. Exportaciones

Las exportaciones de productos avícolas comestibles alcanzaron un volumen de 232.815 toneladas por un valor de más 237 millones de US\$ durante el 2009 (Tabla 17), respecto al año 2008 representó un aumento del 7% y una reducción del 8%, respectivamente (IICA, 2010). Este aumento en las exportaciones genera un crecimiento en la producción del sector para poder cubrir esta demanda. En la figura 6 se representa la tendencia del volumen de las exportaciones avícolas registradas desde el año 2008 a junio del 2010.

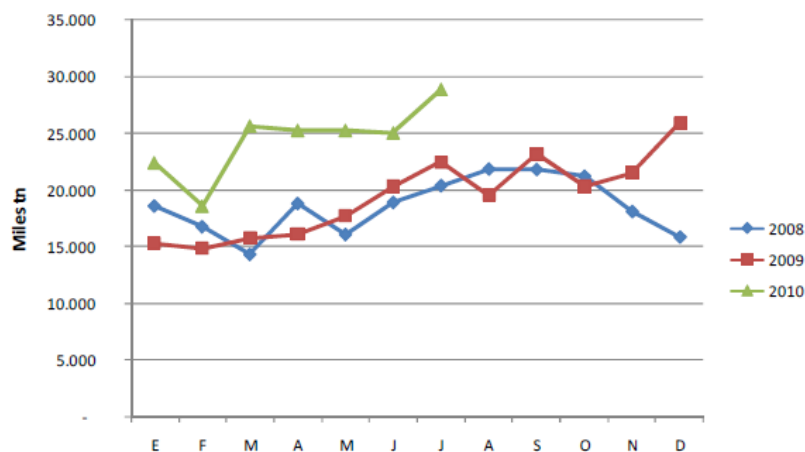


Figura 6. Volumen de las exportaciones avícolas en la Rep. Argentina. Años 2008 a junio del 2010, en miles de toneladas. Fuente: Boletín avícola, 2010.



En términos de volumen, el 60% de las exportaciones se componen de carne fresca, el 24% de subproductos comestibles, el 2% de carnes procesadas, el 11% de harinas animales, y el 3% de otros productos.

Las exportaciones de productos avícolas del año 2010 superaron a las del año 2009, alcanzando las 283.904 toneladas por un valor de 445 millones de US\$, el incremento observado fue alrededor del 22% en volumen y de 45% en valor. Considerando solamente productos comestibles (pollo entero y trozado), con mayor valor agregado que los subproductos (garras, harinas, etc.) el aumento fue de 25% en volumen y de 47% en valor. Este año al igual que en el año 2009 no se registraron exportaciones de otras especies tales como pavos y patos.

Tabla 17. Exportaciones de productos avícolas por mes durante el 2009 y 2010. Fuente:  
Adaptada con datos de Lamelas, 2010.

| Mes            | Año 2009<br>(Toneladas) | Año 2010<br>(Toneladas) | Diferencia en toneladas<br>2010/2009 (%) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Enero          | 15.241                  | 22.370                  | 47                                       |
| Febrero        | 14.831                  | 18.557                  | 25                                       |
| Marzo          | 15.712                  | 25.607                  | 63                                       |
| Abril          | 16.082                  | 25.226                  | 57                                       |
| Mayo           | 17.699                  | 25.224                  | 43                                       |
| Junio          | 20.316                  | 25.003                  | 23                                       |
| Julio          | 22454                   | 28.835                  | 28                                       |
| Agosto         | 19.570                  | 24.984                  | 28                                       |
| Septiembre     | 23.144                  | 26.325                  | 14                                       |
| Octubre        | 20.313                  | 20.356                  | 0  |
| Noviembre      | 21.520                  | 23.017                  | 7  |
| Diciembre      | 25.933                  | 18.400                  | 29                                       |
| <b>TOTALES</b> | <b>232.815</b>          | <b>283.904</b>          | <b>22</b>                                |

Los destinos principales de las exportaciones avícolas estuvieron repartidos entre, 24% Venezuela, 17% Chile, 14% China, 10% Sudáfrica, 1% Alemania y 30% en otros países como Gran Bretaña, Holanda, Rusia, Polinesia francesa, España, Congo, Bélgica, Arabia Saudita, entre otros. En 2010 se sumaron tres nuevos destinos a los ya existentes, Kenia, República Centroafricana y Brunéi (Tabla 18).

En el año 2010 la relación exportación/producción aumentó 3 puntos respecto del 2009, pasando de 15,5% a 18% y alcanzando casi el mismo valor que en 2008 (Tabla 19).

Tabla 18. Destino de las exportaciones en toneladas por mes durante el año 2010. Elaboración propia con datos de Lamelas, 2010.

| Mes               | País/Toneladas |               |               |               |               |               |               |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                   | Alemania       | China         | Hong Kong     | Chile         | Sudáfrica     | Venezuela     | Otros         |
| Enero             | 366            | 3.626         | 1.222         | 4.272         | 2.731         | 3.139         | 7.013         |
| Febrero           | 224            | 2.583         | 852           | 3.459         | 2.547         | 1.134         | 7.757         |
| Marzo             | 365            | 2.658         | 1.161         | 3.262         | 2.634         | 9.056         | 6.471         |
| Abril             | 325            | 3.318         | 621           | 5.925         | 2.458         | 7.028         | 5.551         |
| Mayo              | 555            | 3.001         | 1.002         | 5.158         | 1.747         | 8.505         | 5.257         |
| Junio             | 411            | 2.648         | 8.97          | 3.171         | 2.127         | 9.524         | 6.225         |
| Julio             | 383            | 4.034         | 761           | 3.202         | 2.835         | 9.742         | 7.879         |
| Agosto            | 176            | 3.686         | 406           | 4.007         | 2.396         | 8.293         | 6.020         |
| Septiembre        | 414            | 3.840         | 917           | 3.540         | 2.165         | 7.150         | 8.300         |
| Octubre           | 261            | 2.788         | 843           | 4.117         | 2.428         | 2.675         | 7.244         |
| Noviembre         | 162            | 4.353         | 1.160         | 4.227         | 3.252         | 281           | 9.581         |
| Diciembre         | 315            | 3.074         | 656           | 3.943         | 2.354         | 1.144         | 6.913         |
| <b>TOTAL 2010</b> | <b>3.956</b>   | <b>39.610</b> | <b>10.499</b> | <b>48.285</b> | <b>29.675</b> | <b>67.668</b> | <b>84.212</b> |

Tabla 19. Relación exportación/producción de carne aviar en porcentaje durante el 2009 y 2010. Fuente: Adaptada con datos de Lamelas, 2010.

| Mes               | 2009 %    | 2010 %    |
|-------------------|-----------|-----------|
| Enero             | 13        | 19        |
| Febrero           | 13        | 16        |
| Marzo             | 13        | 19        |
| Abril             | 13        | 20        |
| Mayo              | 15        | 21        |
| Junio             | 16        | 18        |
| Julio             | 17        | 21        |
| Agosto            | 17        | 19        |
| Septiembre        | 18        | 19        |
| Octubre           | 15        | 16        |
| Noviembre         | 17        | 17        |
| Diciembre         | 18        | 13        |
| <b>TOTAL 2010</b> | <b>15</b> | <b>18</b> |

En la figura 7 se detalla la evolución de las participaciones de las exportaciones avícolas sobre la producción desde el año 1994 al 2010.

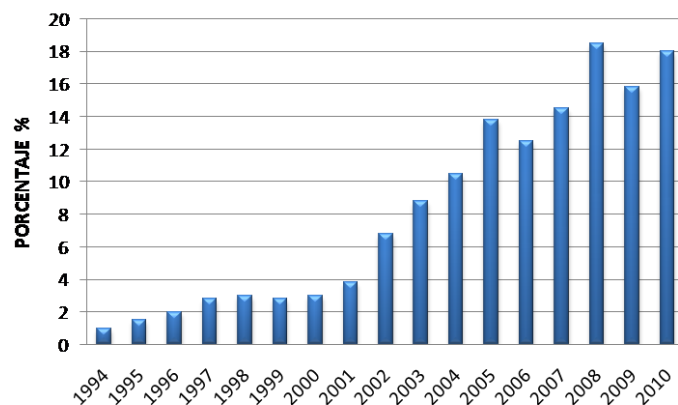
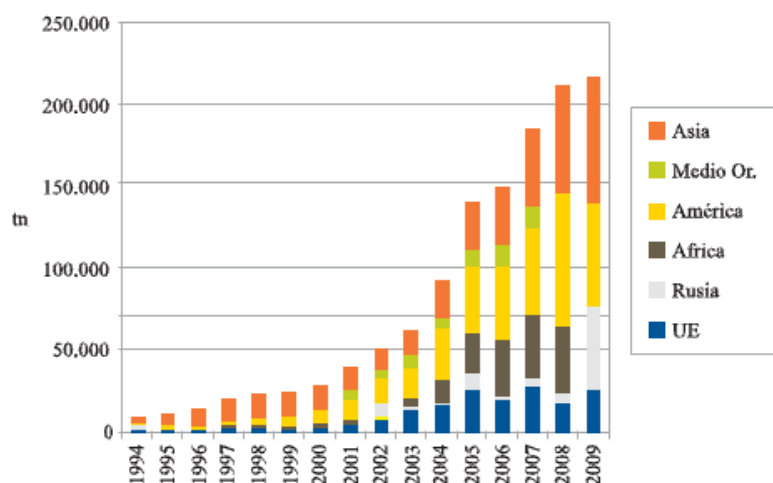


Figura 7. Participación de las exportaciones avícolas sobre la producción (%), desde el año 1994 al 2010. Fuente: Adaptada de Lamelas, 2010.

Consecuentemente, el destino de las exportaciones argentinas de carne de pollo y subproductos ha ido cambiando conforme con el aumento de los envíos de productos con mayor valor agregado. Hasta el año 2003 los productos exportados eran básicamente las garras y harinas (vísceras, sangre, carne, hueso y pluma) y a partir del 2004 comienzan a incrementarse la participación de los productos con mayor valor agregado, incluyendo pollos enteros y trozados. En los primeros años de la década de 1990 se observa una importante participación de Asia, mientras que a medida que fueron incorporándose productos cárnicos propiamente dichos, comienzan a tener mayor participación otros destinos como América, África y la UE. (Figura 8).



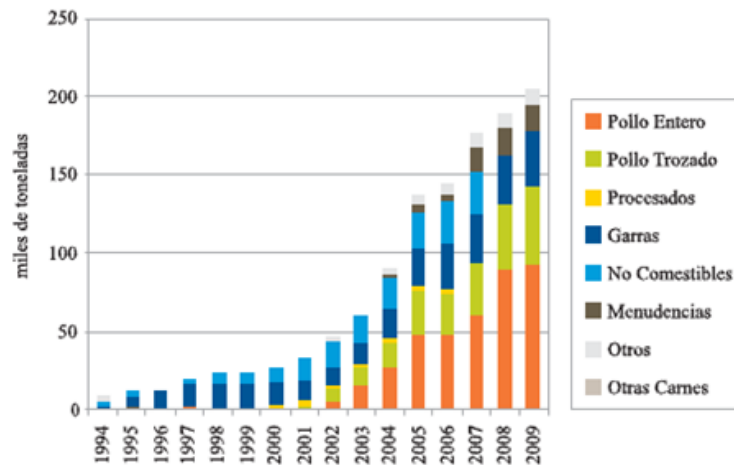


Figura 8. Volumen, destino y composición de las exportaciones argentinas de carne de pollo y subproductos derivados (1994-2009). Fuente: IICA-Senasa, 2010.

También se han realizado exportaciones de aves vivas al exterior, específicamente reproductoras de un día de edad, provenientes de cabañas de abuelos. El número exportado superó las 200.000 unidades en 2009, comparado con las menos de 14.000 exportadas en 2006 (IICA-Senasa, 2010).

Las exportaciones de huevo industrializado aumentaron a partir 2000, con destino principalmente a la UE similar a lo ocurrido con la carne de pollo y sus derivados. El cambio en la economía que se produjo en la Rep. Argentina a partir del 2003 impulsó las exportaciones de huevo industrializado, con destino principalmente a la UE (IICA-Senasa, 2010).

En la Figura 9 se representan las exportaciones históricas de huevos en los últimos quince años.

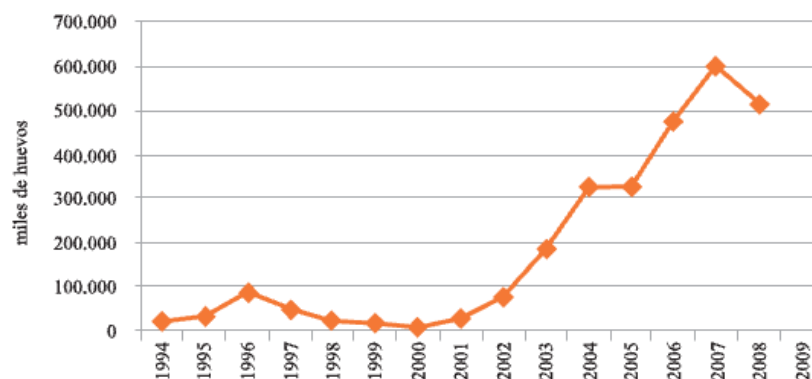


Figura 9. Exportaciones argentinas de huevo en cáscara e industrializado (equivalente cáscara) entre 1994 y 2009. Fuente: IICA-Senasa, 2010.

### I-2.4. Importaciones

Durante el año 2010 (enero-octubre) la Rep. Argentina importó 492.000 aves reproductoras abuelas de líneas de genética pesada y 230.000 aves reproductoras padres de líneas de genética liviana (Tabla 20).

Las importaciones productos avícolas del año 2010, aumentaron 70% en volumen y 63% en valor en relación con el 2009 (Tabla 21).

Las importaciones aviares representaron un 0,7 y 1,1% de la producción nacional estimada (relación exportación/producción) durante el 2009 y 2010 respectivamente (Tabla 22).

Tabla 20. Importaciones de aves vivas durante el 2009 y 2010. Fuente: Lamelas, 2010.

| Mes          | Miles de unidades |            |
|--------------|-------------------|------------|
|              | Año 2009          | Año 2010   |
| Enero        | 69                | 53         |
| Febrero      | 33                | 128        |
| Marzo        | 81                | 97         |
| Abril        | 19                | 21         |
| Mayo         | 48                | 57         |
| Junio        | 53                | 91         |
| Julio        | 8                 | 32         |
| Agosto       | 37                | 62         |
| Septiembre   | 93                | 111        |
| Octubre      | 177               | 70         |
| Noviembre    | 30                | S/D        |
| Diciembre    | 36                | S/D        |
| <b>TOTAL</b> | <b>685</b>        | <b>722</b> |

S/D, Sin datos

Tabla 21. Importaciones de productos avícolas durante el 2009 y 2010. Fuente: Adaptada con datos de Lamelas, 2010.

| Mes            | Año 2009<br>(Toneladas) | Año 2010<br>(Toneladas) | Diferencia 2010/2009 (%) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Enero          | 769                     | 175                     | -77                      |
| Febrero        | 799                     | 801                     | 0                        |
| Marzo          | 699                     | 1.034                   | 48                       |
| Abril          | 771                     | 1.371                   | 78                       |
| Mayo           | 682                     | 1.816                   | 166                      |
| Junio          | 860                     | 1.789                   | 108                      |
| Julio          | 770                     | 1.744                   | 126                      |
| Agosto         | 1.090                   | 1.919                   | 76                       |
| Septiembre     | 1.212                   | 2.289                   | 89                       |
| Octubre        | 1.225                   | 1.294                   | 6                        |
| Noviembre      | 1.228                   | 1.743                   | 42                       |
| Diciembre      | 718                     | 2.439                   | 240                      |
| <b>TOTALES</b> | <b>10.824</b>           | <b>18.413</b>           | <b>70</b>                |

Tabla 22. Relación exportación/producción de carne aviar en porcentaje durante el 2009 y 2010. Adaptada con datos de Lamelas, 2010.

| Mes          | Año<br>2009 % | Año 2010<br>% |
|--------------|---------------|---------------|
| Enero        | 0,6           | 0,1           |
| Febrero      | 0,7           | 0,7           |
| Marzo        | 0,5           | 0,8           |
| Abril        | 0,6           | 1,1           |
| Mayo         | 0,6           | 1,5           |
| Junio        | 0,7           | 1,3           |
| Julio        | 0,6           | 1,3           |
| Agosto       | 0,9           | 1,4           |
| Septiembre   | 1,0           | 1,6           |
| Octubre      | 0,9           | 1,0           |
| Noviembre    | 1,0           | 1,2           |
| Diciembre    | 0,9           | 1,6           |
| <b>TOTAL</b> | <b>0,7</b>    | <b>1,1</b>    |

### I-2.5. Bioseguridad de las granjas en la Rep. Argentina

La bioseguridad de las granjas es uno de los factores de riesgo más importantes en la difusión de enfermedades aviares, siendo inversamente proporcional al riesgo de difusión (Iglesias, 2011; Van Steenwinkel, 2011) por lo que aumentando la

bioseguridad es el mejor modo de minimizar el riesgo de difusión de las enfermedades entre las granjas (Boklund et al., 2004; Alexander et al., 2004; Niemi et al., 2009).

Con el fin de evaluar la bioseguridad de las granjas avícolas se realizó un relevamiento en 5.556 establecimientos avícolas, lo que representó más de un 75% de todas las granjas registradas en el país, que se encontraban en funcionamiento a marzo del 2011 (Tabla 23 y Figura 10). A cada establecimiento avícola se lo clasificó de acuerdo a los niveles de bioseguridad en: “*Granjas A*”, “*Granjas B*” y “*Granjas C*”. La clasificación de las granjas según los niveles de bioseguridad se describe a continuación:

- *Granjas A o granjas muy adecuadas*: granjas que realizan un correcto manejo higiénico sanitario y poseen instalaciones apropiadas para la cría de aves.
- *Granjas B o granjas adecuadas*: granjas intermedias, con alguna diferencia en el manejo o en sus instalaciones, la cual puede ser subsanada a corto plazo.
- *Granjas C o granjas inadecuadas*: granjas que emplean manejos incorrectos y/o realizan un inadecuado mantenimiento de sus instalaciones o del predio en general, que tienen que ser mejorados para su futuro funcionamiento.

Tabla 23. Clasificación según el nivel de bioseguridad de las granjas avícolas en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del SENASA (Marzo, 2011).

| Categoría de bioseguridad | Cantidad de establecimientos |
|---------------------------|------------------------------|
| A                         | 1.280                        |
| B                         | 3.570                        |
| C                         | 706                          |
| <b>Totales</b>            | <b>5.556</b>                 |

Dicha información sobre bioseguridad será utilizada en este estudio para evaluar el riesgo potencial de introducción y difusión del VNC en la Rep. Argentina.

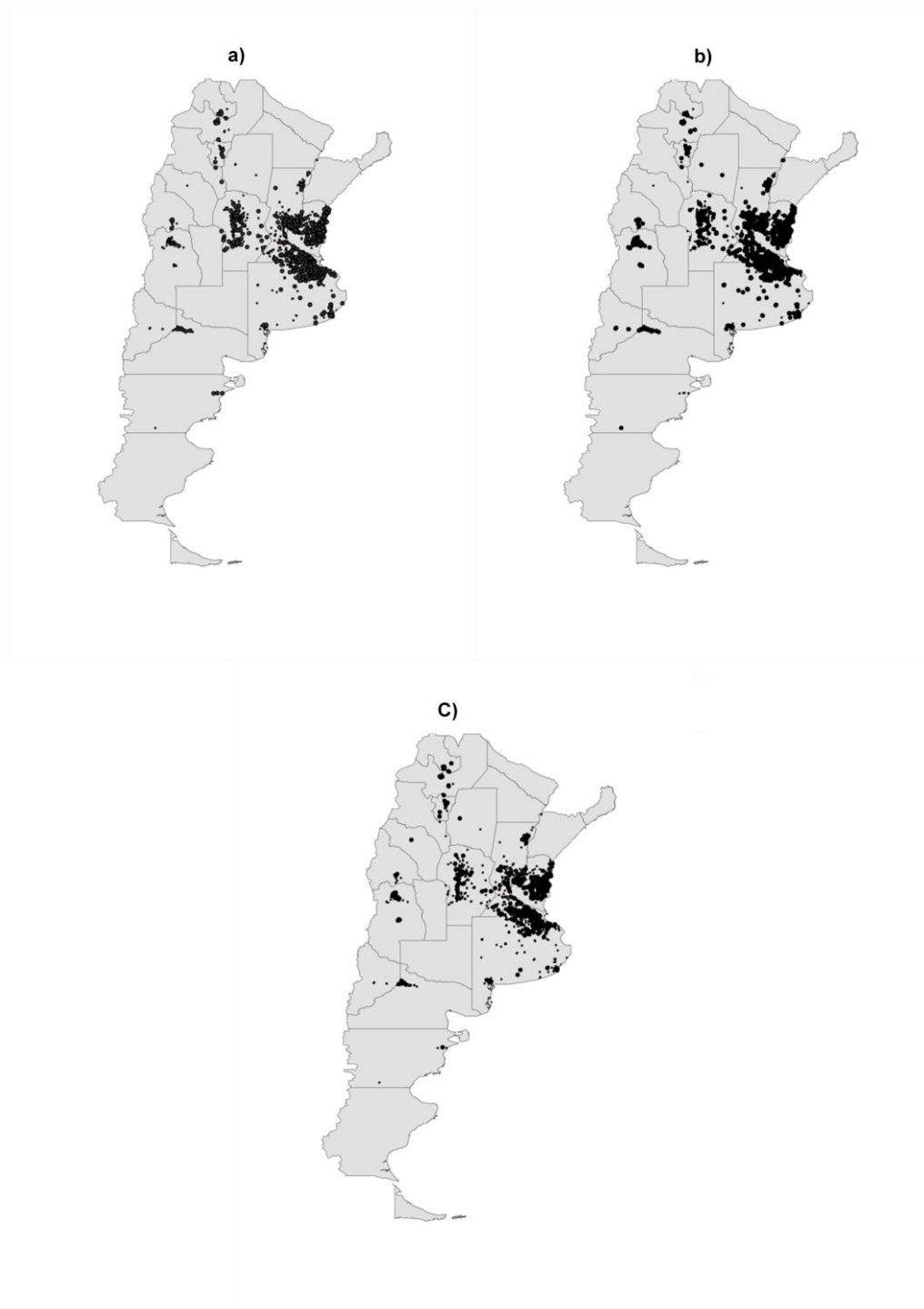


Figura 10. Distribución de las granjas avícolas categorizadas según su bioseguridad (a=Bioseguridad A, b= Bioseguridad B y c= Bioseguridad C). Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa 2011 mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).



### I-3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENFERMEDAD DE NEWCASTLE EN EL MUNDO Y EN LA REP. ARGENTINA.

---

#### I-3.1. Antecedentes históricos y situación actual de la ENC en el mundo

LA ENC es una enfermedad endémica en muchos países de Centroamérica, Sudamérica, Medio Oriente, África y Asia (USDA, 1992; Alexander, 2001; Wakamatsu et al., 2006) (Figura 11y 12).

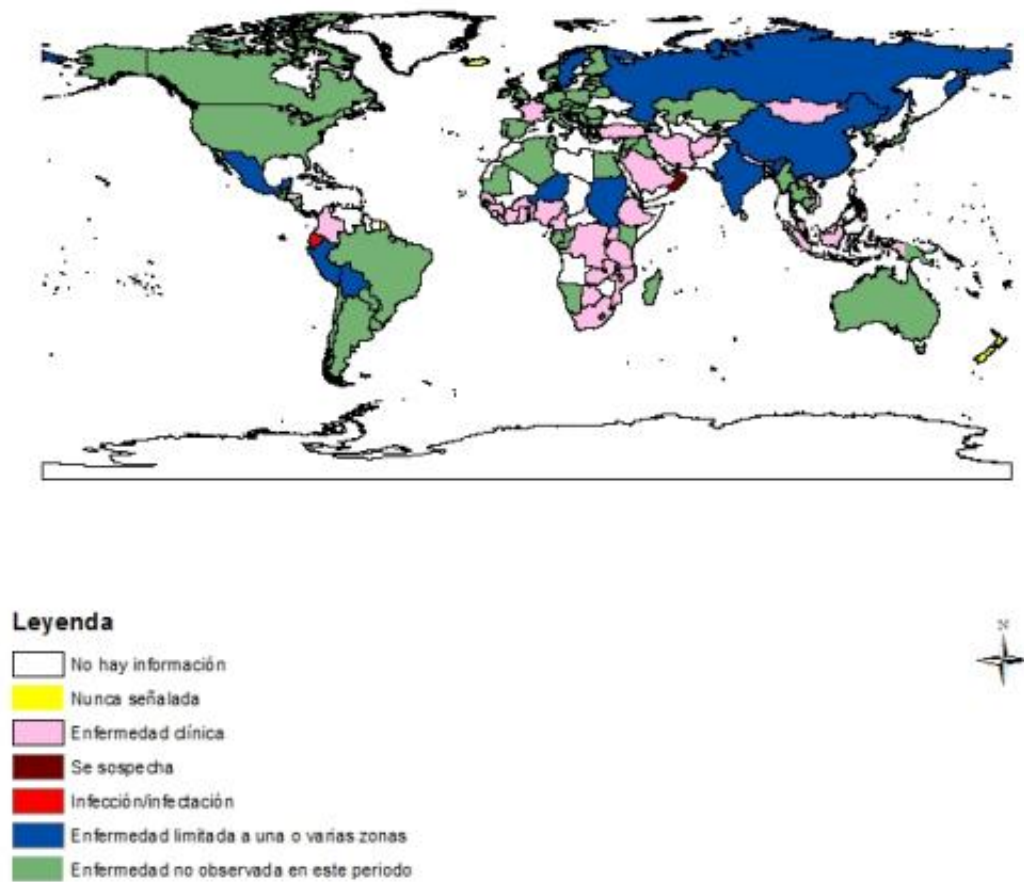


Figura 11. Mapa con la distribución de la ENC en aves domésticas en el mundo en el 2011.

Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (WAHID/OIE, informe del primer semestre 2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

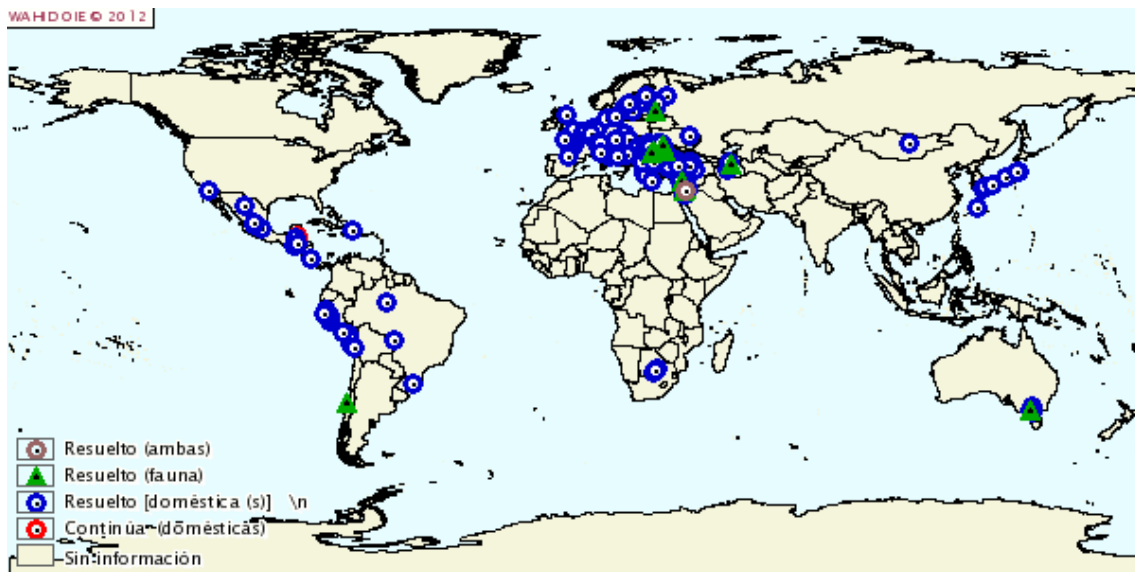


Figura 12. Mapa con la distribución de la ENC en el mundo, brotes de aves domésticas y aves silvestres, desde enero 2005 a septiembre 2012. Fuente: OIE/WHID (OIE, 2012c).

Algunos textos indican que la ENC comenzó en 1926 con la descripción de una enfermedad altamente patógena en dos áreas geográficas localizadas en diferentes partes del mundo, Inglaterra (Newcastle) y en Indonesia (isla de Java) (Kranefeld, 1926; Doyle, 1927). Sin embargo, hay evidencia de brotes de una enfermedad muy similar a la ENC antes de 1926 (Halasz, 1912; MacPherson, 1956).

Cuatro grandes pandemias mundiales fueron reconocidas en la historia del VNC que afectaron a pollos y otras especies de aves (Alexander, 1988; Alexander, 2008).

La primera pandemia reconocida empezó en el Sudeste Asiático a mediados del 1920 y se difundió durante 30 años a lo largo del mundo exceptuando la Antártida (Lancaster, 1987; Fehervari, 2000). Al menos tres serotipos (APMV-2, APMV-3, APMV-4) estuvieron involucrados en la primera pandemia (Yu, 2001).

La segunda pandemia se produjo a finales de la década de 1960 (Alexander, 2003). Sin embargo, se ha comprobado que el virus velogénico ya existía en algunos países antes de la década de 1960 como en Argentina, Brasil, Colombia, México y Venezuela, lo cual indica que en algunos países de América existía la infección. En 1969 la enfermedad ya estaba muy presente en Europa y se produjo por psitácidas importadas a los Estados Unidos (Lancaster, 1987). Al parecer esta pandemia se habría iniciado en el medio oriente llegando a la mayoría de países en 1973, debido al desarrollo de la



industria avícola a nivel internacional y al aumento del comercio de psitácidas, quienes fueron consideradas el mayor factor de riesgo en la diseminación de la enfermedad (Alexander, 2003). Debido a las graves pérdidas, se diseñaron nuevas vacunas para reforzar las medidas de control y prevención, además de nuevas legislaciones nacionales e internacionales en sanidad animal. Estas medidas resultaron aparentemente efectivas en Norteamérica y en algunos países de Europa, pero quedaron muchas áreas endémicas en el mundo, especialmente en aquellos países con alta producción de aves rurales, quedando rutas abiertas de infección y circulación del VNC en palomas domésticas, gallos de pelea y aves silvestres (Fehervari, 2000; Bogoyavlenskiy, 2009).

No está muy claro como comenzó y como se difundió la tercera pandemia, ésta se produjo a fines de la década de los 70, afectando a aves domésticas no vacunadas. Se difundió a Europa y al resto del mundo, por contacto entre aves en competencias, exposiciones y por el gran comercio internacional. La difusión hacia los pollos de carne se dio en muchos países. En Gran Bretaña hubo 20 brotes en pollos no vacunados en 1984 debido al consumo de alimento contaminado por palomas infectadas (Alexander, 2003). No se ha descrito como finalizó esta pandemia, pero la muerte de aves silvestres por el virus y las severas medidas de control en el comercio de aves ornamentales podrían haber desempeñado un importante papel (Fehervari, 2000). El uso de vacunas sin ningún tipo de control en muchos países del mundo para tratar de controlar la enfermedad, posiblemente en algunos casos vacunas vivas infectivas, podría haber sido una de las causas de la difusión de la tercer pandemia (Bogoyavlenskiy, 2009).

La cuarta pandemia es atribuida a una variante del VNC que infecto primeramente a palomas (Aldous, 2004) y ahora está caracterizado como el APMV-6 (Ballagi-Pordany, 1996; Lomniczi, 1998). La variante del virus fue primeramente identificada y aislada en el Medio Oriente a fines de 1970, y se difundió a Europa en 1980 siendo responsable de brotes en pollos no vacunados por alimento contaminado por palomas infectadas en Gran Bretaña durante mediados de 1980, el virus sigue siendo enzoótico en palomas y es una amenaza constante para establecer las infecciones con aves de corral (Bogoyavlenskiy, 2009).

En la actualidad, el VNC velogénico es endémico en Asia, Medio Oriente, África, Centroamérica y Sudamérica y partes de México. Las cepas virulentas son endémicas



en cormoranes salvajes en los EE.UU y Canadá, pero las aves de corral comerciales son libres de las velogénicas. Las cepas lentogénicas se encuentran en aves de corral en todo el mundo y las cepas mesogénicas también pueden encontrarse en algunos países, pero son poco frecuentes (Spickler et al., 2008).

La ENC produjo pérdidas económicas importantes, en diferentes países. Las epidemias que afectaron el Reino Unido en el 1997 e Italia en el 2000 tuvieron como resultado más de 1.8 millones y más de 2.5 millones de aves destruidas respectivamente (Alexander et al., 1998; Capua et al., 2002; Spickler et al., 2008). Otras regiones fueron también devastadas por epidemias de la ENC. Por ejemplo, la epidemia, que afectó EEUU en el 2002 y 2003 dio como resultado unos costes directos e indirectos estimados de más de 2.080 millones de dólares y una despoblación de 3,21 millones de aves (Hietala et al., 2004).

### **I-3.2. Antecedentes históricos y situación actual de la ENC en la Rep. Argentina y Sudamérica**

La Enfermedad de Newcastle (ENC) fue diagnosticada por primera vez en la República Argentina en el año 1961, después de ese año fueron notificados cuatro focos más en aves domésticas, uno en 1966; otro en 1970; y dos en 1987 (Figura 13).

La aparición de la ENC en la Rep. Argentina, fue concomitante con el comienzo de la producción avícola en el ámbito industrial, y por lo tanto, con la importación de los primeros “híbridos” destinados a la cría intensiva. Se registraron, desde entonces y hasta principios de los 70, tres epidemias, la primera en el año 1961, de la cual se aisló una cepa velogénica neurotrópica de alta patogenicidad y morbilidad en el laboratorio de la Universidad de Buenos Aires y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La segunda con características epidemiológicas semejantes, se registró en el año 1966 en la provincia de Buenos Aires, del cual se aisló una cepa velogénica viscerotrópica. La tercera epidemia se registró en 1970 y se aisló el virus en la provincia de Buenos Aires (Senasa, 2004).

A partir de 1965, se autorizó el uso de vacunas vivas, hecho que posibilitó iniciar en forma orgánica el control de la enfermedad.



En el año 1967, la enfermedad, fue incorporada al artículo 6 del Reglamento General de Policía Sanitaria de los Animales, por medio del Decreto N° 254 del año 1967, el cual reglamenta la denuncia obligatoria.

Los últimos dos brotes en aves domésticas ocurrieron en 1987. El primer foco ocurrido en agosto se produjo en 4 establecimientos de aves de traspato en el Departamento de Ayacucho, provincia de Buenos Aires. Aproximadamente 300 gallinas fueron afectadas. La infección se originó en aves de traspato no vacunadas que estaban en una exhibición y desarrollaron signos clínicos durante la exhibición, la infección se difundió posteriormente a otras aves de la exhibición. El brote fue controlado mediante el sacrificio y la desinfección. El virus aislado correspondía a un virus velogénico.

El segundo foco ocurrido en octubre de 1987, se produjo por una cepa patógena (velogénica viscerotrópica) del virus en aves domésticas, se registró en la localidad de Concepción del Uruguay, provincia de Entre Ríos. Aproximadamente 180.000 pollos parrilleros fueron afectados, 9 granjas de aves de corral con dos naves cada una, de 10.000 aves en cada nave. El origen de la infección fue atribuida a una vacuna de Difteroviruela aviar contaminada con virus velogénico viscerotrópico de NC (IICA-Senasa, 2010). El tiempo transcurrido entre la infección y detección de la enfermedad fue de 4 días. El brote fue controlado por sacrificio, desinfección y vacunación. Las actuaciones llevadas a cabo para el control y la erradicación de la enfermedad incluyeron: desinfección, recolección de muestras de sangre, necropsia de todas las aves muertas y sacrificadas en un radio de 25 Km. durante los 35 días posteriores y la aplicación de medidas de bioseguridad (Análisis de riesgo de EEUU, 2004).

A partir de esa fecha se registraron algunos episodios en los que se detectaron síntomas clínicos (respiratorios, digestivos o nerviosos) con muy baja o nula mortandad y de los cuales se aislaron cepas lentogénicas vacunales. Estos casos se atribuyeron a la combinación de factores ambientales, de manejo, de inmunosupresión y a la presencia de otros agentes bacterianos como por ejemplo *Micoplasmas sp.* capaces de potenciar la acción de una cepa apatógena.

Una cepa virulenta de APMV 1 fue aislada en 9 palomas silvestres en junio de 1999 en la provincia de Buenos Aires y esto fue notificado a la OIE (OIE, 2010).

La Rep. Argentina desde octubre de 1996 hasta la actualidad, solamente utiliza vacunas producidas con cepas no patógenas. La vacunación permanente y sistemática contra la ENC ejercida en todo el país y la eficiencia de las vacunas existentes en el mercado, permitieron alcanzar el estatus de país libre en el año 1997 de cepas patógenas del virus de la enfermedad de Newcastle.

En julio de 1997 la OIE declaró a la Argentina como país libre de la enfermedad de Newcastle, estatus que conserva en la actualidad.

Brotos de Newcastle en la Rep. Argentina, año 1987

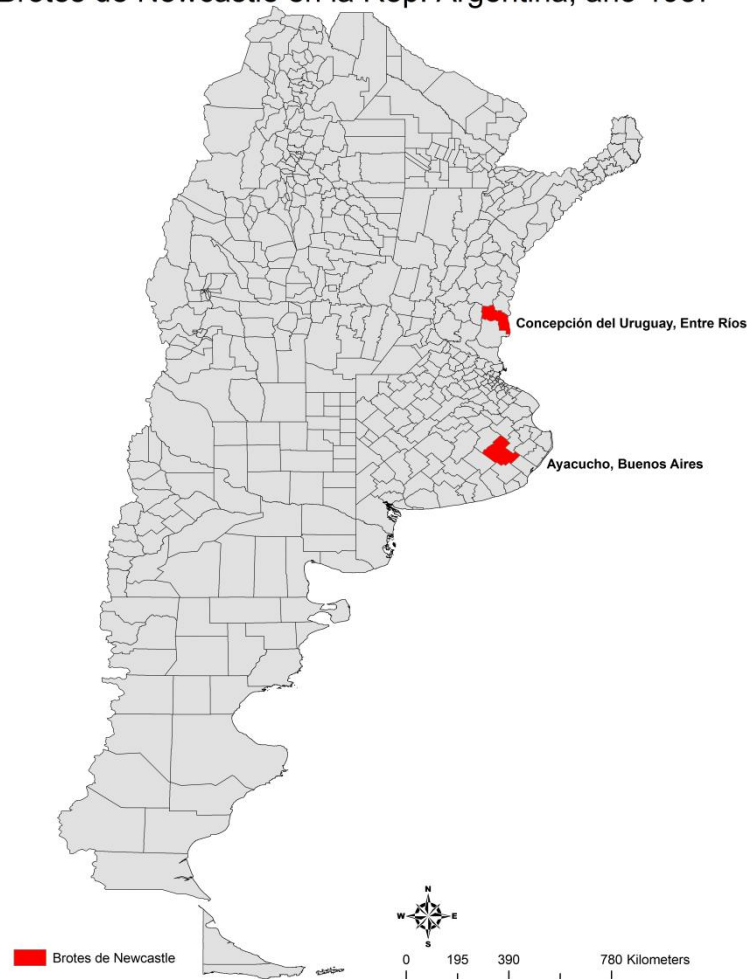


Figura 13. Mapa con la localización de los últimos dos brotes del VNC en la Rep. Argentina en el año 1987. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

De los países que limitan con Argentina solo Chile (que limita al este de la Rep. Argentina) y Uruguay (limita en el noroeste) son países reconocidos por la OIE como

país libre de NC. Paraguay (limita al norte), Bolivia y Brasil (limitan al noroeste) no son países reconocidos como libres de NC.

En la tabla 24 y en la figura 14 se describen los focos registrados por la OIE desde el 2005 hasta enero del 2012 de los países que limitan con la Rep. Argentina y la situación sanitaria actual.

Tabla 24. Situación del VNC en los países limítrofes de la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (OIE, 2012c).

| País     | Situación actual                    | Ultimo foco notificado a la OIE    |
|----------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Brasil   | Enfermedad no presente              | Noviembre del 2006                 |
| Bolivia  | Enfermedad limitada a ciertas zonas | 2011                               |
| Chile    | Enfermedad no presente              | Octubre del 2007 (aves silvestres) |
| Paraguay | Enfermedad no presente              | 1996                               |
| Uruguay  | Enfermedad no presente              | 1984                               |



Figura 14. Representación de la situación del VNC en los países limítrofes de la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos de la OIE (OIE, 2012c) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

#### **I-4. PLANES DE VIGILANCIA Y CONTROL DE LA ENC EN LA REP. ARGENTINA**

---

El plan de vigilancia de la ENC del Senasa está dirigido a una vigilancia activa en subpoblaciones de aves domésticas (industriales y de traspatio) y pasiva en las poblaciones de aves domésticas y silvestres (Senasa, 2011). Los dos objetivos principales son:

1. Detectar infecciones por virus del serotipo 1 del paramixovirus aviar (APMV-1), en aves domésticas, con el fin de evitar su difusión e implementar rápidamente las medidas de control y erradicación, si fuese necesario.
2. Demostrar la ausencia de enfermedad de Newcastle patógeno en las aves domésticas del territorio nacional de acuerdo a las directrices del Código Zoonosario de los Animales Terrestres de la OIE.

A continuación se explican en detalle las medidas de vigilancia y control actuales implementadas en la Rep. Argentina.

##### **I-4.1. Vigilancia pasiva (basada en la sintomatología clínica)**

Tiene como objeto la detección de signos clínicos compatibles con enfermedad, en aves domesticas como silvestres, basado en:

1. El control de los cambios en los parámetros de producción que no tengan una justificación de manejo o sanitaria conocida, tales como:
  - Aumento repentino de la mortalidad en cualquier categoría de aves
  - En pollos de engorde: mortalidad superior al 0.5% durante 3 a 5 días consecutivos ó mortalidad del 3% durante una semana
  - En granjas de gallinas de puesta: mortalidad que supere el 0,2% semanal,
  - En reproductoras: mortalidad que supere el 0.4% semanal
  - Descenso en la producción de huevos superior al 5% durante más de 2 días consecutivos
  - Caída en el consumo de agua y alimento superior al 20%





- Presencia de signos respiratorios o nerviosos. Cabe aclarar que los porcentajes de mortalidad normales en pollos de engorde varían con la semana de crianza, siendo relativamente más altos en la primera y última semana de cría.

Asimismo, es de destacar que existen muchas causas por las cuales es posible que se produzcan cambios en los parámetros productivos, como los detallados precedentemente (aumento de mortalidad, cambios en el consumo de alimento y otros), que no se relacionan con agentes patógenos (ejemplo cambios de dieta, factores climáticos externos o estación del año, intoxicaciones por micotoxinas, problemas derivados del rápido crecimiento de los pollos tales como síndrome ascítico, síndrome de muerte súbita; fallos en la ambientación de las naves, etc.)

Por lo explicado anteriormente los responsables sanitarios de los establecimientos avícolas de producción son los que pueden determinar cuándo resulta necesario dar curso a una investigación para diferenciar estas enfermedades, debiendo estar atentos al registro de cambios en estos parámetros e informar a los veterinarios del Senasa de las respectivas oficinas locales sobre situación presente.

2. Diagnóstico diferencial con otras enfermedades avícolas endémicas o de presentación esporádica:

Hay que tener en cuenta que los signos clínicos causados por el VNC provocado por cepas menos virulentas o bien en aves poco susceptibles (con inmunidad vacunal) pueden ser similares a las de otras enfermedades comunes de las aves, tales como laringotraqueitis infecciosa aviar, cólera agudo, bronquitis infecciosa, entre otras. Se deberá prestar atención a la presencia de estas enfermedades en las granjas, y requerir el envío de muestras al laboratorio oficial para su diferenciación.

#### **I-4.2. Vigilancia activa**

Consiste en realizar un muestreo a fin de detectar casos de aves infectadas sin manifestación clínica de enfermedad. El muestreo está orientado a:

1. Muestreos aleatorios mediante pruebas moleculares para la ENC en:



1.1) Aves comerciales (gallinas de puesta y pollos de engorde) criadas en granjas sin bioseguridad.

1.2) Aves de traspato en zonas fronterizas, y en zonas cercanas a humedales y a granjas de producción avícola comercial.

2. Muestreos no aleatorios mediante pruebas moleculares en:

2.1) Aves ornamentales que asisten a ferias y exposiciones rurales.

2.2) Lotes de pollos de engorde en faena con porcentajes de mortalidad al final de la crianza iguales o superiores al 15%.

#### I-4.2.1 Vigilancia activa en aves de producción familiar (aves de traspato o aves de producción no industrial)

Para la realización del muestreo se definen zonas o regiones geográficas, según el potencial de riesgo de introducción, las zonas definidas fueron:

1. Zona fronteriza: zona de aproximadamente 100 km de la frontera norte, en las cuales puede existir aves más expuestas al riesgo por encontrarse en zonas limítrofes con países/regiones con enfermedad de Newcastle endémicos o en vías de erradicación, con un importante tráfico vecinal fronterizo de aves vivas o productos avícolas (Figura 15).



Figura 15. Zona fronteriza de vigilancia activa en aves de producción familiar (aves de traspato o aves de producción no industrial). Fuente: Programa de Vigilancia Epidemiológica para la Enfermedad de Newcastle y la Influenza Aviar en aves domésticas, Senasa 2011.



2. Otras zonas de riesgo: conformada por aquellas áreas del país donde existe una gran densidad de granjas avícolas y donde es más probable encontrar aves silvestres migratorias o residentes basados en la localización de algunos sitios de asentamientos de las aves migratorias neárticas en Argentina u otros sitios que son considerados de importancia.

#### I-4.2.2. Vigilancia en plantas de faena de pollos de engorde

Se tomarán muestras en los frigoríficos de pollos de engorde habilitados por Senasa, pero solo de aquellos lotes de pollos que presenten, porcentajes de mortalidad al final de su crianza igual o mayor al 15%.

#### I-4.2.3. Monitoreo en ferias y exposiciones rurales

En la Argentina la cría de aves de raza pura y de aves ornamentales está muy extendida y por lo general se realizan en condiciones de libertad o en semicautiverio en casas de familia en medio urbano, semiurbano o rural. Muchos de estos productores forman parte de las asociaciones de criadores de distintos puntos del país. Los ejemplares reproductores de diferentes tipos (gallinas, patos, pavos, faisanes, etc.) pueden movilizarse de una granja a otra (en número por lo general reducido) o bien pueden asistir a ferias y exposiciones rurales que se hallan bajo control del Senasa, en estos lugares es donde se tomarán las muestras.

#### I-4.2.4. Monitoreo serológico en núcleos de reproducción

Las aves reproductoras serán muestreadas en el marco del muestreo para el Plan Nacional de Sanidad Avícola. Los laboratorios reconocidos para el Plan, deberán enviar al laboratorio del Senasa, al menos una vez por año, las muestras correspondientes a los núcleos de aves reproductoras. Las granjas de aves reproductoras padres o abuelas, se encuentran organizadas en núcleos (se entiende como núcleo de reproducción el núcleo conformado con uno o más lotes de aves en líneas de madres o abuelos, alojadas en distintos galpones y con un manejo independiente), cada granja puede disponer de uno o varios núcleos.

#### **I-4.3. Control de la ENC en la Rep. Argentina**

Cuando se sospeche o se produzca un brote de NC, se deberá aislar el/los establecimiento/s infectado/s. Una vez ratificado el diagnóstico, se procederá a sacrificar en mataderos especiales las poblaciones infectadas.

Se vacunarán los establecimientos clínicamente sanos de las poblaciones afectadas. Además, se llevará a cabo una vacunación en anillo.

Los huevos procedentes de granjas infectadas con NC se deberán someter a un tratamiento que garantice la segura inactivación del virus, como la transformación de huevo en polvo o productos de pastelería. La cama procedente de los brotes debe destruirse.

#### **I-4.4. Acciones ante una sospecha**

Cuando en una explotación se encuentren o se denuncien la existencia de una o más aves sospechosas de la ENC, el veterinario oficial pondrá en marcha inmediatamente las medidas de investigación oficiales para confirmar o descartar la presencia de dicha enfermedad. Desde la notificación de la sospecha, el veterinario oficial ordenará colocar bajo vigilancia oficial, y adoptará las siguientes medidas cautelares:

- a) Censo de todas las aves del establecimiento detallando número de aves muertas, número de aves con síntomas clínicos y evolución de estos datos en el periodo de vigilancia.
- b) Toma de muestras y envío al laboratorio.
- c) Aislamiento de todas las aves garantizando que no contacten con otras aves.
- d) Prohibición de ingreso de nuevas aves y salida de las que se encuentren en el establecimiento.
- e) Todos los movimientos de personas, animales, vehículos, aves muertas, residuos, guano, implementos, alimentos o cualquier otro elemento capaz de transmitir la enfermedad, estará subordinado a la autorización del veterinario del Senasa responsable de los procedimientos o a la de las personas que este servicio designe.



- f) Solamente se autorizara la salida de huevos para consumo, si los mismos se destinan directamente a un establecimiento procesador de ovoproductos (huevo líquido o deshidratado).
- g) Investigación epidemiológica correspondiente.
- h) Suspensión de cualquier concentración (feria, mercados, exposiciones) de aves dentro de un radio, de al menos, de 10 km alrededor de la explotación sospechosa.
- i) Desinfección de las entradas y salidas del establecimiento y de las instalaciones que se encuentran en el mismo.

Se controlará que se lleven a cabo los exámenes clínicos, el muestreo y las investigaciones de laboratorio pertinentes en las explotaciones sospechosas para confirmar o descartar la presencia de NC, de acuerdo con las directrices y procedimientos que figuran a continuación:

- a) Se comprobaran los registros de producción y sanitarios de la explotación, en caso que se dispongan de dichos registros.
- b) Se efectuará una inspección de cada subunidad de explotación.
- c) Se prestará atención a los signos de mortalidad elevada signos clínicos compatibles con la ENC. Si se trata de aves de puesta, considerar los niveles de producción de las últimas semanas.
- d) Si se detectan aves muertas o moribundas, se realizaran necropsias, preferentemente a cinco de estas aves y en particular a las que antes de muertas hayan presentado signos de enfermedad.
- e) Se tomaran muestras de los órganos o tejidos de aves que se hayan sometido a la necropsia, a fin de realizar con ellas pruebas virológicas. Estas muestras se tomaran de preferencia de aves recién muertas.

#### **I-4.5. Procedimientos ante la confirmación del brote**

Ante la confirmación diagnóstica se debe garantizar que se adopten las siguientes medidas:

- a) Delimitación de una “zona de foco” o “zona de protección” de un radio mínimo de 5 Km rodeada de una zona “perifocal” o “zona de vigilancia” de un mínimo de 10 Km de radio.



- b) Sacrificio de todas las aves afectadas del establecimiento y destrucción de los cadáveres y huevos “in situ”.
- c) Limpieza y desinfección de instalaciones y de sus alrededores, incluidos los vehículos de transporte y de todo material que pueda estar contaminado.
- d) Concluidas las operaciones descritas en a, b, c, deberá transcurrir un periodo de espera de cómo mínimo 21 antes de volver a introducir aves.

En la zona del foco o de protección se aplicarán las siguientes medidas:

- a) Localización de todas las explotaciones avícolas de la zona.
- b) Visitas y examen clínico y/o de laboratorio si fuera necesario a todos los establecimientos, registrando resultados de las mismas.
- c) Desinfección apropiada de todos los lugares de salida y entrada de los establecimientos.
- d) Control de tránsito de la zona, de aves y persona, vehículos de transporte, cadáveres y huevos.
- e) Los movimientos de aves para su sacrificio al matadero, de pollitos de un día, de huevos para incubar o para consumo, podrán realizarse únicamente con autorización del veterinario oficial.
- f) De no haberse registrado novedades en la zona, las medidas anteriormente descritas se mantendrán durante al menos 21 días después de haberse realizado las tareas de desinfección en los establecimientos infectados.

En la zona perifocal o de vigilancia se aplicarán las siguientes medidas:

- a) Localización de todas las explotaciones avícolas de la zona.
- b) Control de los desplazamientos de aves y huevos para incubar dentro de la zona.
- c) Las aves destinadas a faena o los huevos para incubar si son transportados fuera de la zona perifocal, deberán estar bajo control veterinario oficial.
- d) De no haberse registrado novedades sanitarias en la zona, las medidas que anteceden se mantendrán durante 30 días luego de haberse realizado tareas de desinfección de los establecimientos infectados.
- e) Tanto en la zona focal como perifocal, estará prohibido la realización de ferias o exposiciones, transporte de guano, desperdicios o implementos usados de naves fuera de las zonas circunscriptas.

#### I-4.6. Vacunación contra el VNC en la Rep. Argentina

La vacunación del VNC no es obligatoria en la Rep. Argentina en aves comerciales. Sin embargo el Senasa estima que aproximadamente el 80% de la aves están vacunadas en Argentina (Tabla 25), el 20% restante sirven como aves centinelas. Es probable que la enfermedad clínica se detecte primeramente en las aves no vacunadas si se presenta la enfermedad en el país (Análisis de riesgo de EEUU, 2004). El Senasa recomienda la vacunación como una medida primordial para la prevención de la enfermedad por muchas razones, entre las que se destacan la presencia de cepas velogénicas del VNC con un patrón epidemiológico de endemia en algunos países de Latinoamérica (Villegas et al, 1998) y la existencia de cepas virales no patógenas o de baja patogenicidad (lentogénicas) en aves silvestres (Plan de vigilancia del Senasa, 2011).

La vacunación contra la enfermedad de Newcastle en todas las palomas mensajeras del país es obligatoria por la Resolución N° 723/00 de la S.A.G.P.y A.

Tabla 25. Datos de vacunaciones del VNC en la Rep. Argentina. Años 2005 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del la OIE (OIE, 2012c).

| Año  | Cantidad de animales vacunados |
|------|--------------------------------|
| 2005 | 103.345.000                    |
| 2006 | 103.500.000                    |
| 2007 | Sin datos                      |
| 2008 | 604.348.147                    |
| 2009 | Sin datos                      |
| 2010 | 649.499.967                    |

## **I-5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE INTRODUCCIÓN, ANÁLISIS DE REDES SOCIALES Y MODELOS DE DIFUSIÓN DE ENFERMEDADES**

---

### **I-5.1. Introducción a los modelos de análisis del riesgo de enfermedades y su aplicación en el sector veterinario**

#### I-5.1.1. Introducción

En el ámbito de la sanidad animal el análisis de riesgo se podría definir como el método científico que permite evaluar la probabilidad de entrada, establecimiento y difusión de enfermedades y la estimación de sus consecuencias. Es una herramienta que facilita la toma de decisiones proporcionando, mediante un proceso transparente, lógicamente estructurado y consistente, información sobre el riesgo de introducción de enfermedades mediante el comercio de animales, productos y subproductos de origen animal, y otras vías. Aunque no es una metodología nueva su aplicación en el ámbito de la sanidad animal es reciente impulsándose sobre todo tras el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT).

La creciente globalización de los intercambios comerciales de productos pecuarios y animales incrementan las posibilidades de diseminación de enfermedades, por lo que se vuelve imperativo establecer mecanismos que permitan agilizar el comercio internacional salvaguardando al mismo tiempo la salud animal de los países involucrados. El objetivo general del análisis de riesgo es garantizar la seguridad de los intercambios, permitiendo eliminar el uso de barreras sanitarias como medidas no arancelarias en el comercio internacional (OIRSA-OIE, 2006).

#### I-5.1.2. Tipos de evaluación de riesgo

Dependiendo de la información disponible la evaluación del riesgo puede realizarse con diferentes niveles de profundidad, clasificándose así a la evaluación de riesgo en cualitativa o cuantitativa. En términos de costo y complejidad la evaluación cualitativa es la más sencilla y la evaluación cuantitativa la más compleja.





a) *Evaluación cualitativa:* Esta evaluación no involucra la cuantificación de parámetros, utiliza escalas descriptivas para evaluar la probabilidad de ocurrencia de cada evento. En general este tipo de evaluación se utiliza:

- Como una evaluación inicial para identificar situaciones que requieran un estudio más profundo.
- Cuando el riesgo percibido no justifica el tiempo y esfuerzo que requiere un análisis más profundo.
- Cuando no existe información suficiente para la cuantificación de los parámetros.

b) *Evaluación cuantitativa:* Esta evaluación utiliza valores numéricos, en vez de escalas cualitativas, para estimar la probabilidad de ocurrencia de cada evento. La calidad del análisis depende directamente de la calidad de la información. En términos generales se prefiere este tipo de estudios pues brindan una base más sólida para la toma de decisiones incluyendo la consideración de la variabilidad y la incertidumbre de los datos y parámetros utilizados.

A veces se describen evaluaciones “semi-cuantitativas” de los riesgos, esto se hace por ejemplo, asignando puntuaciones en cada etapa de una vía de exposición al peligro y expresando los resultados en escalas descriptivas para evaluar la probabilidad de ocurrencia final. Provee un nivel intermedio entre la evaluación textual del análisis de riesgo cualitativo y la evaluación numérica del análisis de riesgo cuantitativo. Este tipo de análisis es el que se va a desarrollar en el presente estudio. El análisis de riesgo semi-cuantitativo ofrece ventajas con respecto al análisis cuantitativo, ya que permite evaluar, en menor tiempo un número grande de riesgos, incluso cuando los datos son escasos. Además esta evaluación inicial del riesgo luego puede ser analizada en mayor profundidad mediante un análisis cuantitativo.

Tanto la evaluación cualitativa como cuantitativa, siguen básicamente el mismo proceso. Una vez identificado el peligro potencial (puede ser más de uno), se procede a desarrollar los escenarios o eventos que puedan producirse. De esta manera se construye lo que se conoce como un *árbol de escenarios*, en el cual se observan gráficamente los pasos desde la liberación del riesgo hasta la exposición y consecuencias de introducción. Posteriormente se recopila información que permita

definir la magnitud del riesgo para cada parámetro de manera cualitativa o cuantitativa, dependiendo del tipo de estudio y de la información disponible.

#### I-5.1.3. Etapas del análisis de riesgo

El proceso de análisis de riesgo está compuesto por cuatro etapas: **identificación del peligro**, **evaluación del riesgo**, **gestión del riesgo** y la **comunicación del riesgo** (Figura 16).



Figura 16. Componentes del análisis de riesgo. Fuente: OIE, 2010b.

##### *I-5.1.3.a. Identificación de Peligro*

Dentro de la evaluación del riesgo se debe inicialmente identificar el peligro potencial a estudiar, en nuestro caso el peligro es la entrada del VNC. Concretamente se deben identificar las especies susceptibles, formas de transmisión, características de la enfermedad, evolución histórica de su incidencia en los países de origen, vías potenciales de entrada en un territorio, etc.

La identificación del peligro de este estudio fue descrita en la sección I-1 de la introducción.

##### *I-5.1.3.b. Evaluación de riesgo*

La evaluación del riesgo tiene varios componentes: 1) la evaluación de la liberación (probabilidad de ingreso del agente), 2) la evaluación de la exposición en el lugar de destino, 3) la evaluación de las consecuencias y finalmente 4) la estimación del riesgo (OIE, 2010b). A continuación se describen detalladamente cada uno de ellos.

*I-5.1.3.b.1. Evaluación de la liberación (probabilidad de ingreso del agente)*

De acuerdo al Código Zoosanitario Internacional de la OIE (2010) la evaluación de la liberación consiste en describir el/los proceso(s) biológico(s) necesario(s) para que una actividad de importación provoque la introducción de agentes patógenos en un medio determinado, y en estimar cualitativa o cuantitativamente la probabilidad de que se desarrolle efectivamente ese proceso (OIE, 2010b). Algunos de los factores que deben considerarse son:

- Volumen esperado de importación
- Infraestructura veterinaria en el país o la región de origen
- Prevalencia y distribución del agente en el país o región de origen
- Población susceptible en el país o región de origen
- Métodos de selección, muestreo, cuarentena, medidas preventivas y eficacia de los mismos en origen
- Supervivencia del agente en el producto, tomando en consideración la especie, raza, sitios de predilección del agente, condiciones de procesamiento
- Inspección y muestreo en destino
- Medidas preventivas en destino

*I-5.1.3.b.2. Evaluación de la exposición*

Consiste en describir el/los proceso(s) biológico(s) necesario(s) para que los animales y las personas del país importador se vean expuestos a los peligros introducidos a partir de una fuente de riesgo determinada, y en estimar cualitativa o cuantitativamente la probabilidad de esa exposición (OIE, 2010b). Algunos de los factores que deben considerarse son:

- Distribución de las poblaciones susceptibles en el país de destino
- Inmunidad de la población del país de destino
- Uso del producto en destino
- Mecanismo de transmisión de la enfermedad
- Factores que afectan la supervivencia del organismo
- Presencia de vectores potenciales
- Huéspedes secundarios o intermediarios del agente



Una vez que se han establecido los factores necesarios y la cadena de eventos para la ocurrencia de la enfermedad (liberación y exposición) y se ha recopilado la información pertinente, se analiza cada uno de estos parámetros y se hace una estimación de las probabilidades de ocurrencia. En el análisis cualitativo únicamente se estima que la probabilidad es, por ejemplo, alta, media, baja o insignificante, mientras que en el análisis cuantitativo se asignan probabilidades, valores numéricos a cada parte del evento.

La evaluación cuantitativa puede dividirse en una evaluación determinística o una evaluación probabilística o estocástica. La evaluación determinística asigna un valor medio o más probable a cada parámetro, y por lo tanto, la incertidumbre y variabilidad de los valores de los parámetros introducidos en el modelo no se tienen en cuenta, debido a que asigna un único valor. La evaluación probabilística o estocástica define cada variable mediante una distribución de probabilidad que describe el rango de valores de la variable así como la probabilidad de que el valor de la variable esté dentro de un subconjunto de dicho rango. La evaluación probabilística tiene en cuenta por tanto, la variabilidad e incertidumbre del valor de las variables al considerar distribuciones de probabilidad (OIE, 2010b). Para incorporar la incertidumbre en el cálculo del riesgo en el análisis cuantitativo se utilizan simulaciones de Monte Carlo o Latin-Hypercube que repiten el cálculo múltiples veces (cada cálculo se conoce como una iteración), tomando valores al azar de acuerdo a la distribución que se haya determinado para cada parámetro.

La probabilidad de ocurrencia (evaluación de la liberación y de la exposición) obtenida ya sea cualitativamente o cuantitativamente puede ser categorizada en diversas escalas cualitativas para facilitar su comprensión e interpretación, como por ejemplo:

- Insignificante: El evento virtualmente no ocurriría
- Muy baja: Muy improbable que ocurra el evento
- Baja: Improbable que ocurra el evento
- Moderada: Posible que ocurra el evento a una probabilidad alta
- Alta: Altamente probable que ocurra el evento

#### *I-5.1.3.b.3. Evaluación de las consecuencias*

Consiste en describir las consecuencias directas e indirectas que puede tener una exposición determinada y estima la probabilidad de que se produzcan. Estas consecuencias pueden agruparse en consecuencias biológicas o sanitarias y económicas.

*Consecuencias biológicas o sanitarias:* Son aquellas derivadas de la introducción y exposición de un agente patógeno dentro de una población susceptible. Los aspectos que deben considerarse para poder evaluar las consecuencias biológicas incluyen:

- Distribución temporal y espacial de los establecimientos y animales susceptibles, infectados, inmunes, sacrificados, inmovilizados, etc.
- Características productivas y de comercialización
- Capacidad de detección
- Capacidad de la respuesta de emergencia

Puede haber más de una evaluación de consecuencias biológicas dependiendo de las rutas de exposición y/o las opciones de control que se adopten.

*Consecuencias económicas:* Entre los factores económicos pertinentes que deben considerarse se encuentran, el posible perjuicio por pérdida de producción o de ventas en caso de entrada y difusión de la enfermedad; los costes de control o erradicación, la relación coste-beneficio de otros posibles métodos para limitar los riesgos, compensación, cambios en el comercio, cambios por parte de los consumidores, etc. Las consecuencias pueden categorizarse como por ejemplo en insignificante muy baja, baja, media, alta y muy alta.

#### *I-5.1.3.b.4. Estimación del riesgo*

La estimación del riesgo debe integrar tanto la probabilidad de ingreso (liberación y exposición) como la evaluación de las consecuencias de la enfermedad para así obtener el riesgo global asociado de los peligros considerados.

*I-5.1.3.c. Gestión del riesgo*

Esta etapa compara el resultado obtenido en la evaluación del riesgo con el nivel adecuado de protección establecido por el país. Tiene como objetivo decidir y aplicar las medidas adicionales necesarias para reducir el riesgo a un nivel aceptable, en caso de que este no lo fuera (OIE, 2010<sub>b</sub>).

*I-5.1.3.d. Comunicación del riesgo*

Un componente esencial para que el proceso de análisis de riesgo sea transparente es la comunicación. Esta debe ser multidireccional y para todos los sectores involucrados, es decir los beneficiarios de la importación, los receptores del riesgo, expertos, sector oficial del país importador y exportador. Es importante que se establezca una estrategia de comunicación con objeto de asegurar que todos los sectores participen y estén informados del proceso de evaluación del riesgo y gestión del mismo.



### I-5.2. Introducción al análisis de redes y su aplicación en el sector veterinario

Un método relativamente novedoso en veterinaria y de gran utilidad para investigar los patrones de movimientos es el *Análisis de Redes Sociales* (ARS).

El análisis de redes en el sector veterinario está cobrando creciente interés por su utilidad para analizar y caracterizar movimientos de animales (equinos, bovinos, cerdos, aves, peces) y para modelizar la difusión de las infecciones (Mainar-Jaime et al., 1999; Hoinville et al., 2000; Gibbens et al., 2001; Corner et al., 2003; Christley y French, 2003; Schouten et al., 2004; Webb, 2005; Christley et al., 2005; Leon, 2006; Kao et al., 2006; Bigras-Poulin et al., 2006; Ortiz-Pelaez et al., 2006; Kiss et al., 2006; Kiss et al., 2006b; Robinson y Christley, 2007; Bigras-Poulin et al., 2007; Dent et al., 2008; Green et al., 2009; Aznar, 2011; Nöremark, 2011; Sánchez Matamoros et al., 2012).

Los estudios del ARS pueden clasificarse y categorizarse en:

1. Estudios descriptivos de los movimientos de ganado (Webb y Sauter-Louis, 2002; Christley et al., 2005; Webb, 2005, 2006; Bigras-Poulin et al., 2006, 2007; Robinson y Christley, 2007), este tipo de estudios se encuentran enfocados en el uso de medidas de centralidad para identificar movimientos importantes del ganado dentro de una red y en el uso de medidas de cohesión para determinar el nivel de conexión de los movimientos dentro de la red.
2. Uso del ARS para entender epidemias pasadas (Shirley y Rushton, 2005; Ortiz-Pelaez et al., 2006) fue utilizado por Shirley en el 2005 para estudiar la epidemia de Fiebre Aftosa en el Reino Unido del 2001 identificando así los mercados de animales vivos como los difusores principales de la enfermedad.
3. El ARS para describir y analizar el impacto de las regulaciones en los movimientos del ganado (Green, et al., 2006; Kao et al., 2006; Robinson y Christely, 2007).
4. Caracterizar el impacto de la estructura de contacto del ganado en una epidemia, predecir el tamaño de la epidemia y desarrollar modelos para evaluar la validación de los conceptos de la red (May y Lloyd, 2001; Kiss et al., 2005; Saramaki y Kaski, 2005; Shirley y Rushton, 2005b; Woolhouse et al., 2005;

Green et al., 2006; Kao et al., 2006; Kiss et al., 2006; Kiss et al., 2006b; Kao et al., 2007; Duerr et al., 2007; Pautasso y Jeger, 2008).

Existen algunas revisiones en la aplicación del ARS en epidemiología veterinaria, metodologías y definiciones aplicadas en el sector veterinario que fueron descriptas por Martínez-López et al., (2009) y Dubé et al., (2009).

El ARS y la teoría de grafos permiten analizar un conjunto de elementos y la relación entre ellos. Una red se entiende como una colección de unidades que pueden o no estar conectadas.

Las definiciones de los elementos (*vértices, nodos, actores*) y su relación (*contactos, flechas, líneas*) dependen enteramente de la investigación que se quiera llevar a cabo. Los elementos pueden ser establecimientos, áreas, animales, mercados, personas, etc.; que se relacionan entre sí. Esta relación puede tener múltiples definiciones: animales que se mueven de un establecimiento/área/mercado a otro, personas/granjeros que visitan granjas, distancias entre granjas, etc. La definición de la relación necesariamente incorpora el factor tiempo. La relación entre los dos elementos puede ocurrir en cualquier momento del tiempo, el cual previamente tiene que ser definido por el investigador, como por ejemplo los movimientos del ganado porcino y bovino durante el 2006 al 2008 en Suecia descrito por Noremark (2011). Una vez recopilados los datos de todos los nodos y sus contactos y definida la red, ésta puede ser caracterizada.

La teoría de grafos provee el marco teórico para el estudio de las características de las redes y sus propiedades. Desarrolla una serie de conceptos y parámetros que ayuda al investigador a caracterizar sistemáticamente las propiedades de los nodos, permitiendo identificar componentes “importantes” de la red, como también caracterizar la red en sí misma para explorar o describir lo que algunas veces se refiere como el “comportamiento” de la red.

Los resultados obtenidos mediante el ARS son de gran utilidad para los Servicios Veterinarios Oficiales en la aplicación de la vigilancia, análisis de riesgo y planes de contingencia de las enfermedades infecciosas.



Como se dijo anteriormente uno de los objetivos principales del ARS es identificar nodos “importantes” en términos de frecuencia y extensión de la relación con otros nodos en la red. La “importancia” de los nodos pueden calcularse midiendo la *centralidad* del vértice mediante una serie de medidas, las tres medidas más utilizadas son la *centralidad de grado* (*degree centrality*), *centralidad de cercanía* (*closeness centrality*) y *centralidad de intermediación* (*betweenness centrality*) (Wasserman et al., 1994; Koschützki et al., 2005). A continuación se describen estas medidas con mayor detalle:

- **Centralidad de grado** (*degree centrality*): La medida más simple de centralidad es la centralidad de grado  $cD(v)$  de un vértice  $v$  que es definido simplemente como el grado  $d(v)$  de  $v$  si se considera a una red indirecta. En una red directa hay dos variantes de centralidad de grado, el in-degree centrality  $ciD(v) = d^-(v)$ , que es el número de contactos que cada nodo recibe de la red; y el out-degree centrality  $coD(v) = d^+(v)$ , que es el numero de contactos que se originan de cada nodo en la red (Wasserman et al., 1994; Koschutski et al., 2005). En la figura 17, la granja A tiene un out-degree de 2 y un in-degree de 0. Los establecimientos con animales con un alto valor in-degree y out-degree son considerados “nodos importantes” en la red y pueden tener un riesgo de infectarse o infectar a un elevado número de establecimientos de la red.
- **Centralidad de cercanía** (*closeness centrality*): Es un estimador de como un nodo puede tener relaciones con otros nodos, pero a través de un pequeño número de pasos en la red (Beauchamp, 1965; Sabidussi, 1966; Freeman, 1977). Es decir, el número de contactos necesarios para que cualquier nodo de la red llegue a un determinado nodo (in-closeness) o para llegar a cualquier nodo desde un determinado nodo (out-closeness). Matemáticamente, podemos expresar la centralidad de cercanía como el inverso a la suma de las distancias entre nodos, o sea  $C_i = \frac{1}{\sum_j d_{ij}}$  donde  $d_{ij}$  es la distancia entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ . Cabe mencionar que los valores altos de cercanía indican una mejor capacidad de los nodos para contactarse con los demás nodos de la red.
- **Centralidad de intermediación** (*betweenness centrality*): La centralidad de intermediación de un vértice  $i$  ( $Bc_i$ ) es un estimador que mide la probabilidad de que el camino más corto entre dos pares de vértices de la red pase a través de

un vértice  $i$ . Matemáticamente la centralidad de intermediación de un nodo  $i$  ( $BC_i$ ) es el número de caminos más cortos de la red que pasa por el nodo  $i$  dividido por el número de caminos más cortos de la red (Freeman, 1977). Esto significa que un nodo con un valor alto de intermediación es intermediario en el contacto entre varios nodos (Dubé. et al., 2011). Matemáticamente se expresa como:

$$BC_i = \sum \frac{\#SP \text{ al nodo } i}{\#SP}$$

#= Número, SP= camino más corto

Como conclusión final puede decirse que el ARS es una técnica útil para identificar individuos, poblaciones y regiones que son importantes en términos de riesgo para la introducción de enfermedades infecciosas, mantenimiento y su difusión (Martínez-López et al., 2009).

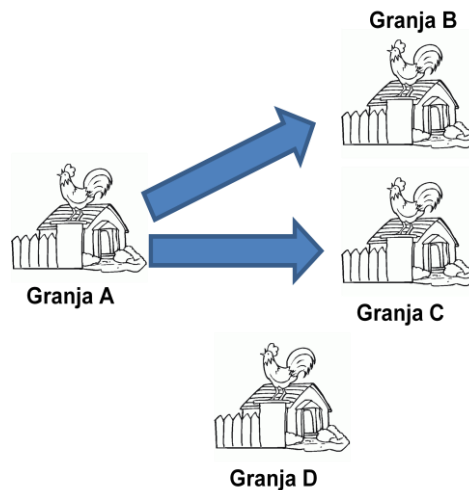


Figura 17. Representación grafica de una red compuesta por cuatro vértices (Granja A, Granja B, Granja C y Granja D) y dos contactos (Granja A con Granja B y Granja A con Granja C).

Fuente: Elaboración propia.

### I-5.3. Introducción a los modelos de difusión de enfermedades animales

#### I.5.3.1. Definición y generalidades de los modelos

Un modelo, en general, es una representación simplificada física o conceptual, que permite facilitar el estudio del sistema más complejo al cual representa. Es por eso que los modelos proporcionan un marco perfecto para desarrollar y comunicar ideas sobre el comportamiento de un sistema particular (Keeling y Eames, 2005). En el caso de las enfermedades infecciosas, los modelos constituyen una base lógica y de bajo coste para estudiar los procesos de transmisión, cuantificar sus consecuencias y evaluar el impacto de las posibles intervenciones. Por consiguiente, un modelo epidemiológico puede ser de gran utilidad para:

- Entender el comportamiento de epidemias pasadas y evaluar la eficacia de diferentes estrategias de control mediante el análisis retrospectivo (Jalvingh, et al., 1999; Nielen, et al., 1999).
- Identificar las áreas de mayor riesgo para la difusión potencial de una enfermedad para definir actividades de prevención y vigilancia basados en riesgo (Wittmann et al., 2001; England et al., 2002).
- Explorar diferentes estrategias en epidemias simuladas o hipotéticas, bajo diferentes escenarios epidemiológicos, para la preparación de planes de contingencia y la estimación de los recursos necesarios o del impacto sanitario y económico potencial de su aplicación (Sanson, 1993; Bates et al., 2003, Garner y Beckett, 2005; Harvey et al., 2007; Rich y Winter-Nelson, 2007).
- Identificar la ausencia de datos y poder así priorizar la recopilación de información.
- Proporcionar un apoyo en la toma de decisiones durante una epidemia (Taylor et al., 2004).

Son muchos los tipos de modelos epidemiológicos descritos hasta la fecha (Taylor, 2003), lo cuales pueden ser determinísticos o estocásticos y tener distintos supuestos y unidades de análisis. La adecuación de uno u otro tipo de modelo depende de la naturaleza del problema y de la información disponible. En esta tesis se han empleado modelos de difusión basados en redes de contactos (ej. redes sociales) ya que se consideraron los más adecuados para el estudio de la difusión potencial de la enfermedad de Newcastle, dado el detalle de información disponible. Las características y peculiaridades de dichos modelos se muestran a continuación.

### I.5.3.2. Modelos de difusión basados en redes sociales

Los modelos de difusión de enfermedades basados en redes sociales buscan modelizar la difusión de una enfermedad en una población en la cual se conocen los patrones y la estructura de contactos entre individuos. La dinámica de transmisión de la enfermedad dentro de una red social se modeliza utilizando *modelos de transición de estados*. Los modelos de transición de estados, como su propio nombre indica, asignan a cada individuo o nodo de la red un “estado” en cada tiempo concreto y la transición de un estado a otro se rige por la tasa de infección (en función del número de vecinos infectados que contacten con el nodo en cuestión) y, en el caso de los SIR, por la tasa de recuperación (en función de si un individuo infectado se recupera o elimina del sistema).

Los modelos de transición de estados más utilizados en la literatura son de cuatro tipos: SIS, SIR, SEIR y SEIS.

#### *I.5.3.2.a. Modelos de difusión Susceptible-Infectado (SIS):*

En este caso sólo se considera el estado susceptible y el infectado. No se considera el hecho de que los infectados se recuperen o mueran sino que los infectados se asumen que superan la enfermedad y pueden adquirirla nuevamente (ej. vuelven a ser susceptibles). Por lo tanto, en este tipo de modelos, se puede ver como un virus se difunde muy rápido dentro de una población cerrada. Estos modelos han sido utilizados para enfermedades como el cólera, algunos tipos de influenza o enfermedades de transmisión sexual, entre otras (Figura 18).

#### *I.5.3.2.b. Modelos de difusión Susceptible-Infectado-Removed (eliminado) o Recuperado (SIR):*

La mayoría de las enfermedades infecciosas pueden ser descritas por los modelos de tipo SIR. Este tipo de modelo contempla los estados de susceptible (S), infectado (I) y *removed* (eliminado) o recuperado (R). Un individuo comienza con un estado de S y progresa al estado de I. La progresión de los individuos de un estado S a I lo gobierna la tasa de transmisión ( $\beta$ ), que depende directamente de la cantidad de vecinos infectados dentro de la red en el caso de los SIR basados en redes sociales. Posteriormente, un individuo infectado se recupera o se elimina a una velocidad que se rige por la tasa de recuperación o eliminación ( $\gamma$ ) (Figura 18). Este tipo de modelo



es el que se utilizó en el presente trabajo para evaluar la difusión del VNC en la Rep. Argentina.

*I.5.3.2.c. Modelos de difusión Susceptible-Expuesto-Infectado-Removed (eliminado) o Recuperado (SEIR):*

Estos modelos tienen un compartimento extra con respecto a los SIR para aquellos individuos que adquieren la infección pero que no son infecciosos inmediatamente para los demás, éste es el periodo de latencia y es calculado como la inversa del periodo de incubación. Este modelo es aplicable para las enfermedades donde el inicio de la infectividad ocurre con posterioridad al momento de la infección. En principio cualquier enfermedad que se describe por el modelo SIR puede ser descrito por el modelo SEIR. La decisión del uso de un modelo o del otro depende de la duración del período de latencia. En general, si el tiempo desde que un individuo se infecta hasta que es infeccioso es breve, se suele simplificar la simulación de la enfermedad y, por tanto, del tiempo computacional, mediante la utilización de un SIR en lugar de un SEIR (Figura 18).

*I.5.3.2.d. Modelos de difusión Susceptible-Expuesto-Infectado-Susceptible (SEIS):*

Este tipo de modelos son modelos SIS con la única diferencia de la introducción de un estado latente (Figura 18).

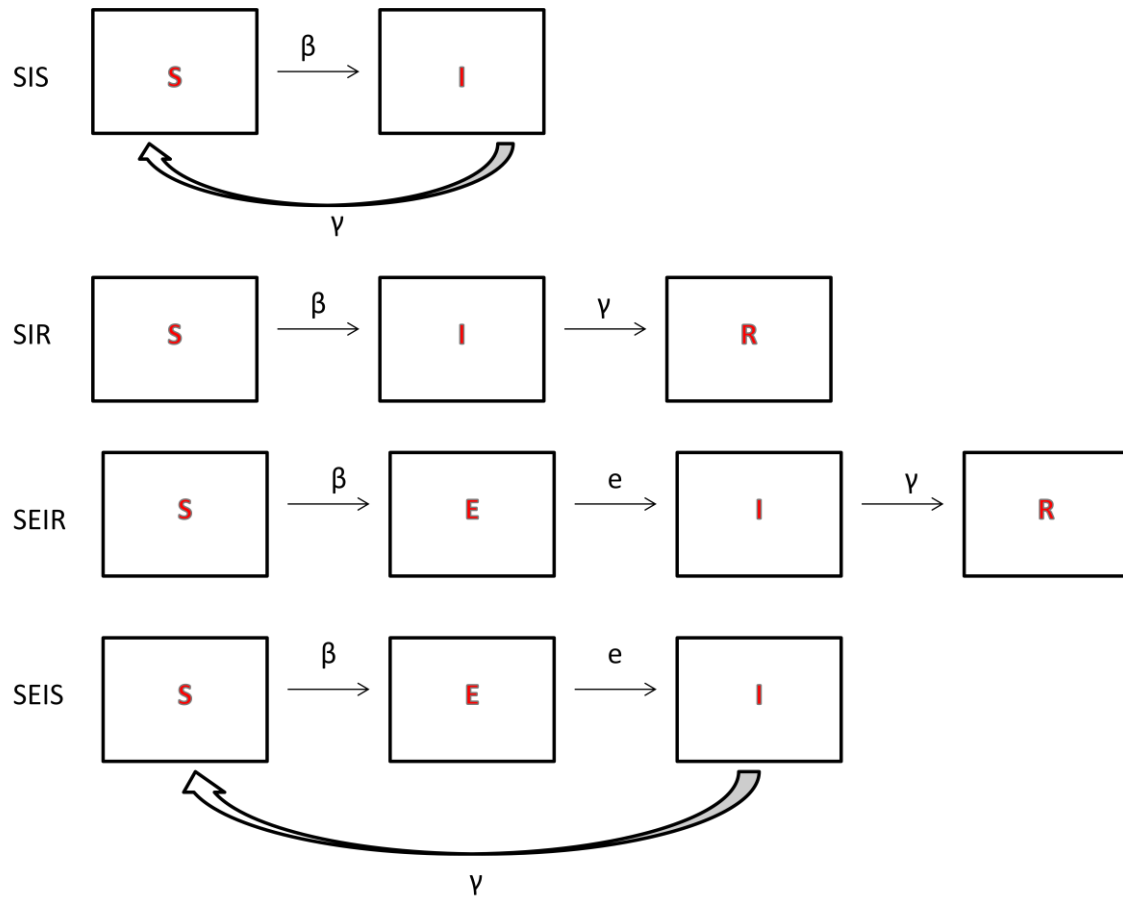


Figura 18. Representación de los diferentes tipos de modelos de transición de estados ( $\beta$ = tasa de transmisión,  $\gamma$ = fracción de recuperados de la infección o que son eliminados,  $e$ = fracción de expuestos que se vuelven infecciosos). Fuente: Elaboración propia.





## **II. JUSTIFICACIÓN**







## II. JUSTIFICACIÓN

La enfermedad de Newcastle es considerada en todo el mundo como una de las enfermedades más importantes que afectan al sector avícola debido a la alta mortalidad que puede producir y a las repercusiones socio-económicas que derivan de las restricciones de comercio en los países afectados (Jørgensen, 1998; Wakamatsu et al., 2006; Aldous y Alexander, 2008; Alexander, 2008; Bogoyavlenskiy, 2009). Debido a su importancia y por ser una enfermedad altamente contagiosa, la ENC está incluida dentro de la lista de enfermedades de declaración obligatoria por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2012b). Actualmente, es una enfermedad endémica en muchos países de América, Medio Oriente, África y Asia (USDA, 1992; Alexander, 2001; Wakamatsu et al., 2006).

La ENC afecta a numerosas especies de aves tanto domésticas como silvestres (Kaleta y Baldauf, 1988), sin embargo las aves de corral, en especial los pollos, son particularmente susceptibles y pueden experimentar tasas de morbilidad y mortalidad de hasta el 100%, sobre todo con cepas de alta patogenicidad (Bogoyavlenskiy, 2009). Los brotes más virulentos de la enfermedad de Newcastle tienen un gran impacto en aves de traspatio principalmente en los países en vías de desarrollo como Vietnam, Tailandia, Mauritania, Mozambique, Uganda entre otros (Atienza, 1987; Supramaniam, 1988; Martin, 1992; Awan et al., 1994). Históricamente muchos países se vieron seriamente afectados por esta enfermedad, un ejemplo fue Estados Unidos donde la epidemia del 2002-2003 provocó la muerte de más de 3 millones de aves y causó pérdidas en la industria estimadas en 5 mil millones de dólares (Hietala et al., 2004; Spickler et al., 2008). Otros ejemplos fueron las epidemias que se produjeron en Reino Unido en 1997 y en Italia en el 2000 más de 1,8 millones y más de 2,5 millones de aves fueron sacrificadas, respectivamente (Alexander et al., 1998; Capua et al., 2002).

La enfermedad producida por cepas de baja patogenicidad, común en las aves de corral en todo el mundo, puede disminuir la productividad pero no tienen ningún impacto en el comercio internacional.

Actualmente la Rep. Argentina es un país considerado libre de la enfermedad de Newcastle por la OIE desde julio de 1997. En la República Argentina la ENC fue diagnosticada por primera vez en el año 1961, posteriormente a ese año fueron notificados



cuatro brotes, uno en 1966; otro en 1970; y dos en 1987. El brote de 1987 fue el último producido por una cepa velogénica del virus en aves domésticas.

La Rep. Argentina cuenta actualmente con una avicultura muy desarrollada, siendo el 7º productor y 5º exportador mundial de productos avícolas con una población promedio de 145 millones de aves industriales según datos del año 2010 (Lamelas, 2010). La avicultura en la Rep. Argentina exporta aves y productos a más de 60 países dado que cumple con los requisitos higiénico-sanitarios, de trazabilidad y de calidad de los mercados más exigentes, incluyendo la Unión Europea, Estados Unidos, Canadá y Japón (IICA–Senasa, 2010). Por ese motivo, la introducción potencial de la enfermedad provocaría importantes consecuencias socio-económicas y sanitarias para el país, debido, fundamentalmente a los embargos y restricciones comerciales.

Hasta la fecha no existe ningún estudio que cuantifique el riesgo y consecuencias de una potencial introducción y difusión del virus de la ENC en la Rep. Argentina. Dichos estudios serían de gran utilidad no sólo para el diseño de sistemas de vigilancia y prevención basados en riesgo que maximicen la capacidad de rápida detección en caso entrada y minimicen los costes, sino también para elaborar y actualizar planes de contingencia con un mejor ratio coste-beneficio. Además, la metodología planteada en esta tesis puede ser potencialmente adaptada a otras enfermedades y especies animales no solo en la Rep. Argentina, sino en otros países con datos y condiciones epidemiológicas similares.



### **III. OBJETIVOS**



### III. OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis es evaluar y cuantificar el riesgo y las consecuencias de una potencial entrada y difusión de la enfermedad de Newcastle en la Rep. Argentina mediante el desarrollo de modelos de análisis de riesgo semi-cuantitativos y de modelos de difusión determinísticos.

Los objetivos específicos planteados son:

1. Identificar las vías de entrada y los factores de riesgo que mayor riesgo suponen para la entrada y difusión potencial de la ENC en la Rep. Argentina.
2. Analizar la variabilidad espacial y temporal de dicho riesgo de entrada y difusión de la ENC, identificando los países de origen, los períodos y las zonas de la Rep. Argentina que concentran un mayor riesgo.
3. Caracterizar los patrones de contactos directos entre explotaciones avícolas comerciales en la Rep. Argentina, identificando sus fortalezas y vulnerabilidades para la difusión potencial de la ENC y de otras enfermedades avícolas.
4. Desarrollar un modelo de difusión, basado en la red social de contactos entre explotaciones avícolas, para evaluar la difusión potencial del VNC entre las granjas comerciales de aves de la Rep. Argentina, lo que permitirá identificar granjas epidemiológicamente importantes y cuantificar la magnitud sanitaria de potenciales epidemias de la ENC en la Rep. Argentina.
5. Evaluar el impacto de las políticas preventivas en la reducción del riesgo de entrada y difusión de la ENC en la Rep. Argentina y plantear posibles mejoras.





#### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**





## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se detallan los aspectos metodológicos empleados en la tesis, incluyendo la naturaleza y características de los datos utilizados, así como las distintas metodologías y programas empleados para su procesamiento y análisis.

### IV-1. ANÁLISIS DEL RIESGO DE ENTRADA POTENCIAL DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA

---

#### IV-1.1. Descripción y justificación de las vías de entrada del VNC en la Rep. Argentina

Las vías de entrada que fueron analizadas para evaluar el riesgo de entrada potencial del VNC en la Rep. Argentina fueron las vías más importantes y aquellas con que se contó con la información suficiente para ser evaluadas.

Las vías de entrada evaluadas en el presente estudio se encuentran resumidas en la siguiente figura:

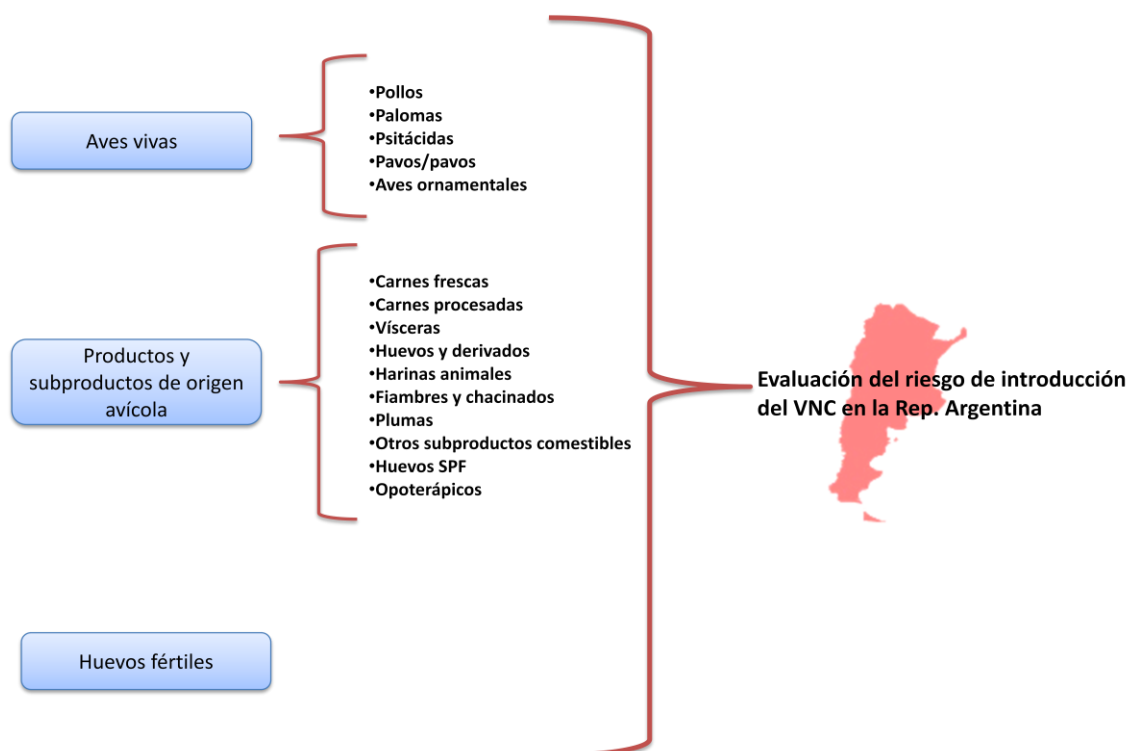


Figura 19. Esquema de las vías seleccionadas para el análisis del riesgo de entrada del VNC en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia.

### IV-1.2. Recopilación de la información obtenida para evaluar el riesgo de cada una de las vías de entrada

Para la realización del análisis del riesgo de introducción del VNC en la Rep. Argentina se recopiló información tanto de bases de datos nacionales e internacionales como de publicaciones científicas.

Toda la información recopilada para el desarrollo del modelo de introducción del VNC en la Rep. Argentina fue introducida en una base de datos propia elaborada para tal fin en el programa Microsoft Access 2007 (Microsoft, Redmond, USA). A continuación se detalla la información recopilada (Figura 20).

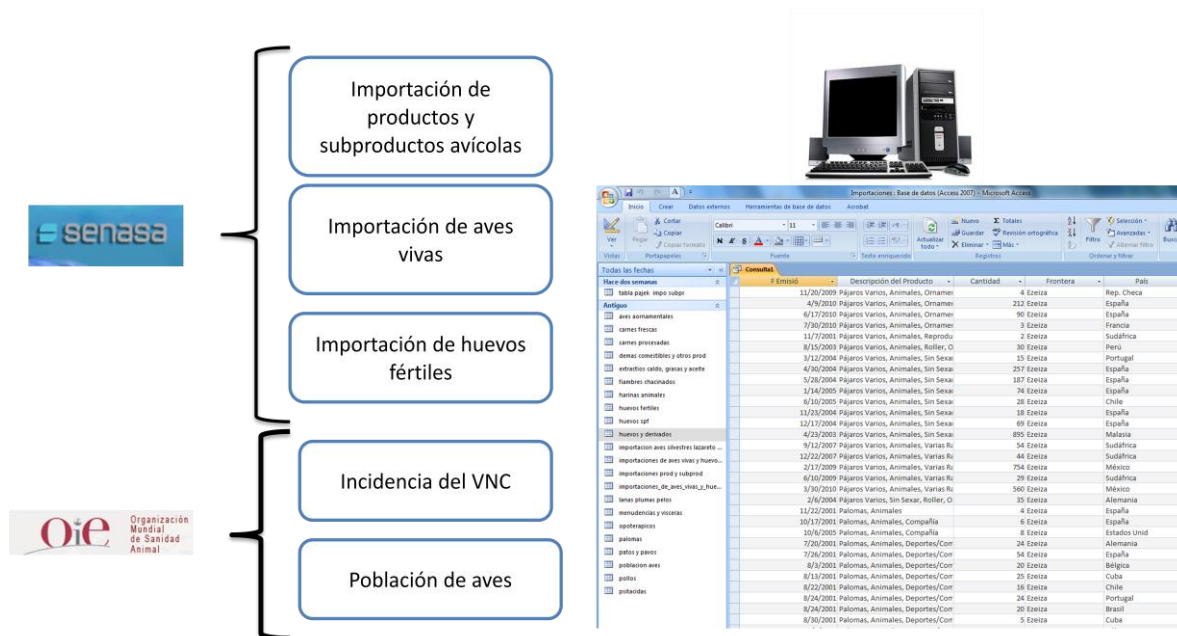


Figura 20. Esquema de la información recopilada e incorporada a la base de datos propia para el análisis del riesgo de entrada del VNC en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia.

#### IV-1.2.1. Volumen de productos/subproductos avícolas importados

El volumen de productos y subproductos avícolas importados fueron proporcionados por la Coordinación de Estadísticas –DNICA- del Senasa y corresponden a las importaciones registradas desde el año 2001 al 2010. Los registros aportados contenían detalles que incluían:



- País de origen
- Tipo de producto
- Especie
- Cantidad de producto importado en kg.
- Nombre comercial del importador
- Día, mes y año de la importación
- Frontera de ingreso del producto a la Rep. Argentina

Los productos/subproductos avícolas son aquellos productos de origen aviar (pollo, pavo, pato, avestruz, ganso o ñandú) que pueden o no ser destinados al consumo humano.

Los productos/subproductos avícolas importados a la Rep. Argentina fueron agrupados según el tipo de producto con el fin de poder analizar cada producto/subproducto como una vía de ingreso independiente, la agrupación realizada fue la siguiente:

- Carnes frescas
- Carnes procesadas
- Vísceras
- Huevos y derivados
- Harinas animales
- Fiambres y chacinados
- Plumas
- Otros subproductos comestibles
- Huevos SPF
- Opoterápicos (material destinado para la elaboración de productos farmacéuticos)

#### IV-1.2.2. Volumen de aves vivas importadas

Los datos de aves vivas importadas hacia la Rep. Argentina fueron obtenidos del Senasa, y corresponden al período de importaciones registradas por la Coordinación de Estadísticas –DNICA- del Senasa desde el año 2001 al 2010 y registros de la Estación de Cuarentena Lazareto Capital del Senasa, período 2005 al 2010. Los registros individuales disponibles en la base de datos fueron:

- Día, mes y año de la importación
- Cantidad importada en unidades



- País de origen
- Frontera de ingreso de las aves a la Rep. Argentina
- Datos del importador
- Descripción de la importación

Las importaciones de aves vivas, al igual que los productos/subproductos, fueron agrupadas para poder analizar cada grupo como una vía de ingreso independiente, la agrupación realizada fue:

- Pollos
- Palomas
- Psitácidas
- Pavos/patos
- Aves ornamentales

#### IV-1.2.3. Volumen de huevos fértiles importados

El volumen de huevos fértiles importados fue obtenido de los últimos registros disponibles aportados por la Coordinación de Estadísticas –DNICA- del Senasa, registros de importaciones desde el 2001 al 2010. Los datos disponibles para su análisis fueron:

- País origen
- Especie
- Cantidad de producto importado en unidades
- Nombre comercial del importador
- Día, mes y año de la importación
- Frontera de ingreso a la Rep. Argentina

Es importante aclarar que no se contó con la información del lugar de destino final (provincia) tanto para las importaciones de productos/subproductos avícolas, aves vivas y huevos fértiles, solo se obtuvo la información de la frontera de ingreso a la Rep. Argentina.



#### V-1.2.4. Incidencia del VNC en los países que exportan material de riesgo (productos/subproductos avícolas, aves vivas y huevos fértiles) a la Rep. Argentina

Para cada uno de los países que exportaron material de riesgo a la Rep. Argentina, se realizó una recopilación de las epidemias del VNC que fueron declaradas y que se encuentran registradas en la OIE (OIE, 2010). Se recopiló la información de estas epidemias desde el año 2001 al 2010 por mes y por país, toda la información fue exportada en una base de datos propia creada con el programa Microsoft Access 2007 (Microsoft, Redmond, USA) para su posterior análisis.

La información desde el año 2001 al 2004 se obtuvo de la base de datos del Handistatus II de la OIE, y la de los brotes ocurridos entre el año 2005 al 2010 se obtuvo del WAHID (OIE, 2010b).

#### IV-1.2.5. Población de aves de los países que exportan material de riesgo (productos/subproductos avícolas, aves vivas y huevos fértiles) a la Rep. Argentina

La población avícola de los países que exportaron material de riesgo a la Rep. Argentina fue obtenida de la base de datos de la OIE (OIE, 2010; 2012c), los años registrados fueron del 2005 al 2010. Para aquellos países donde no existía información de la OIE se utilizó la información que se encontraba disponible en la base de datos de la FAO (FAOSTAT, 2012).

#### IV-1.2.6. Recopilación de la información obtenida a partir de publicaciones científicas

La información sobre la supervivencia del VNC en aves, en productos/subproductos avícolas y la capacidad infectiva fue obtenida de publicaciones científicas, dicha información está descrita en la sección I-1.1.1.b, I-1.2.1 y I-1.2.2 (supervivencia en productos avícolas, susceptibilidad del VNC en las aves domésticas y susceptibilidad del VNC en las aves exóticas y silvestres).

### **IV-1.3. Análisis del riesgo: Método para evaluar el riesgo de las vías de entrada**

Se ha desarrollado un modelo semi-cuantitativo de análisis de riesgo para estimar el riesgo relativo de liberación, exposición y riesgo total de la ENC en la Rep. Argentina.



Como se explicó anteriormente las bases teóricas del análisis de riesgo son las mismas tanto para el análisis de riesgo cualitativo, semi-cuantitativo y el cuantitativo, estos tipos son igualmente validos (Zepeda, 2002) y aceptados por la OIE.

La evaluación semi-cuantitativa del riesgo de introducción del VNC en la Rep. Argentina, se ha llevado a cabo siguiendo las directrices recomendadas por la OIE (OIE, 2010b) y los pasos del análisis de riesgo fueron los descritos y explicados en la sección I-5.1 de la introducción.

Para poder realizar un modelo de análisis de riesgo lo primero que hay que hacer es considerar las vías de introducción que van a ser introducidas en el modelo, valorando y cuantificando su participación en la introducción potencial del VNC. Estas vías han sido anteriormente explicadas en la sección I-1.3.1. (Vías de entrada del VNC). De todas las vías de entrada del VNC identificadas previamente se analizaron únicamente aquellas con que se contó con información suficiente para realizar dicho análisis. Concretamente las vías de introducción potencial del VNC en la Rep. Argentina seleccionadas para su análisis fueron:

1. **Volumen de productos y subproductos avícolas importados** (Carnes frescas; carnes procesadas; vísceras; huevos y derivados; harinas animales; fiambres y chacinados; plumas; otros subproductos comestibles; huevos SPF y opoterápicos).
2. **Volumen de aves vivas importadas** (pollos; palomas; psitácidas; aves ornamentales y pavos/patos).
3. **Volumen de huevos fértiles importados.**

Las etapas de la evaluación de riesgo de introducción del VNC que van a ser evaluadas en esta sección para determinar el **riesgo total (Rt)** son: **la evaluación de la liberación (Ri)** y **evaluación de la exposición (Re)**, de forma que el riesgo total se calcula como:

$$R_t = R_i \times R_e$$

Para determinar la incertidumbre asociada al riesgo total se calculó la incertidumbre asociada para cada una de las etapas (incertidumbre asociada al riesgo de liberación y al riesgo de exposición).



El riesgo de liberación corresponde al riesgo de introducción del material de riesgo con el VNC en la Rep. Argentina evaluado y estima la probabilidad de que se desarrolle efectivamente ese proceso.

El riesgo de exposición consiste en describir las formas de contacto entre el material de riesgo infectado con el VNC y la población susceptible, estima la probabilidad de esa exposición.

Los países que imponen mayor riesgo de liberación del VNC a la Rep. Argentina, también fueron identificados para cada vía de entrada.

#### IV-1.3.1. Evaluación de la liberación

En esta etapa se va a determinar la evaluación de la liberación (probabilidad de ingreso) del VNC a la Rep. Argentina. Se identificaron además los países que imponen un mayor riesgo en la liberación del VNC. Para cada una de las vías identificadas anteriormente, los cuatro parámetros examinados para determinar el riesgo de liberación del VNC (**Ri**) a la Rep. Argentina fueron:

1. La prevalencia de la infección del país de procedencia del material de riesgo a la Rep. Argentina (**Ppm**).
2. Población de aves del país de procedencia del material de riesgo a la Rep. Argentina (**Pm**).
3. Supervivencia del VNC en el material de riesgo (**Sm**).
4. Volumen de material de riesgo introducido a la Rep. Argentina (**Vm**).

El riesgo de liberación del VNC puede expresarse de la siguiente manera:

$$Ri = \sum_{c=1}^n [R(Ppm)_c \times R(Pm)_c \times R(Sm) \times R(Vm)_c]$$

De la formula enunciada anteriormente, **n** corresponde a número total de países que exportaron material de riesgo que se quiere analizar a la Rep. Argentina.





**R(P<sub>pm</sub>)** corresponde al riesgo relativo asociado a la prevalencia de la infección del país de origen **C** con respecto al material de riesgo.

**R(P<sub>m</sub>)** corresponde al riesgo relativo asociado a la población de aves del país de origen **C** con respecto al material de riesgo analizado.

**R(S<sub>m</sub>)** es el riesgo relativo asociado a la probabilidad de supervivencia del VNC en el material de riesgo analizado.

**R(V<sub>m</sub>)** corresponde al riesgo relativo asociado al volumen de material de riesgo introducido a la Rep. Argentina del país de origen **C**.

El riesgo asociado al parámetro **P<sub>pm</sub>** hace referencia a la situación sanitaria del país de procedencia con respecto a los brotes ocurridos en los últimos 10 años en aves domésticas y exóticas registrados por la OIE. Este parámetro fue categorizado entre insignificante (significa que no puede diferenciarse del cero, en términos prácticos puede ser ignorado) y alto mediante el método de clasificación de cortes naturales de Jenks.

El método de clasificación de cortes naturales de Jenks, también llamado método de optimización de Jenks, es un método de clasificación de datos designado para determinar la mejor clasificación de los valores en diferentes clases, identifica puntos de ruptura naturales de la distribución (natural breaks) y crea las clases a partir de ellos. Este método busca reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre clases. Su aplicación garantiza la homogeneidad de los estratos, sin perder la heterogeneidad entre ellos (Jenks, 1967).

El riesgo asociado al parámetro **P<sub>m</sub>** hace referencia a la población de aves del país de procedencia del material de riesgo ingresado a la Rep. Argentina. Se categorizó a este parámetro entre insignificante y alto en base al análisis de la distribución de los datos mediante el uso del método de clasificación de cortes naturales de Jenks.

El riesgo asociado al parámetro **S<sub>m</sub>** hace referencia a la supervivencia del VNC en el material de riesgo y también fue categorizado entre insignificante y alto según los datos de supervivencia en los diferentes materiales de riesgo descritos en los secciones I-1.1.1.b, I-1.2.1 y I-1.2.2 (supervivencia en productos avícolas, susceptibilidad e importancia



epidemiológica del VNC en las aves domésticas y susceptibilidad e importancia epidemiológica del VNC en las aves exóticas y silvestres).

El **V<sub>m</sub>** corresponde al riesgo asociado al volumen de material de riesgo introducido en la Rep. Argentina (volumen de aves vivas importadas, volumen de huevos fértiles importados y volumen de productos/subproductos avícolas importados). Igualmente, este parámetro fue categorizado mediante la distribución de los datos con el uso del método de clasificación de cortes naturales de Jenks entre insignificante y alto.

Los datos de importaciones de productos/subproductos a su vez fueron desagregados para poder evaluarlos como vías de ingreso independientes (fueron analizados cada uno como vías de entrada diferentes) en carnes frescas; carnes procesadas; vísceras; huevos y derivados; harinas animales; fiambres y chacinados; plumas; otros subproductos comestible; huevos SPF y opoterápicos.

Los datos de las importaciones de aves vivas también fueron desagregados y agrupados para ser analizados cada grupo como vías de ingreso independientes. Se agruparon en cinco grupos: pollos; palomas; psitácidas; pavos/patos y aves ornamentales.

Por último el sumatorio del riesgo de liberación para cada uno de los materiales de riesgo desde cada país de origen fue evaluado y los países que suponen un mayor riesgo también fueron identificados.

La probabilidad de ocurrencia de cada uno de los parámetros de la evaluación del riesgo de liberación (**R<sub>i</sub>**) fueron clasificados mediante escalas descriptivas, cada clasificación de las categorías esta explicada en la tabla 26.

Tabla 26. Interpretación de las categorías de riesgo utilizadas en la evaluación cualitativa del riesgo de liberación. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.

| Categorías de riesgo | Interpretación                                      |
|----------------------|---|
| Insignificante       | El evento es tan raro que no merece ser considerado |
| Bajo                 | El evento es raro pero puede ocurrir                |
| Medio                | El evento ocurre regularmente                       |
| Alto                 | El evento ocurre casi con seguridad                 |

Cada uno de los parámetros estimados en la evaluación del riesgo de liberación tienen un nivel de incertidumbre asociados a los mismos que fueron tenidos en cuenta para este



análisis de riesgo. El cálculo final de la incertidumbre asociada a la liberación para cada uno de las vías de entrada fue obtenido mediante la sumatoria de la incertidumbre asociada a las mismas.

La interpretación de dichos niveles están representados en la tabla 27 y son explicados a continuación, los mismos fueron incluidos y descritos en los resultados del análisis de riesgo llevado a cabo.

- Incertidumbre asociada a **R(P<sub>pm</sub>)**: La incertidumbre y la variabilidad asociada a la prevalencia de los países importadores fue categorizada en insignificante, baja, media y alta.

La variabilidad se obtuvo en base a la desviación estándar de los brotes notificados por los países exportadores a la Rep. Argentina.

La incertidumbre asociada a la confiabilidad de los servicios veterinarios fue evaluada teniendo en cuenta las medidas de control notificadas para el VNC en el período 2011 a la OIE en aves y en especies silvestres por los países exportadores (declaración obligatoria del VNC en aves; medidas de control en puestos fronterizos; vigilancia de rutina; vigilancia dirigida; sacrificio sanitario; sacrificio sanitario parcial; vacunación de rutina; seguimiento epidemiológico; restricción de los movimientos en el interior del país; tamizaje; tratamiento y control de animales silvestres).

- Incertidumbre asociada a **R(P<sub>m</sub>)**: La incertidumbre asociada y la variabilidad de la población avícola fue categorizada en insignificante, baja, media y alta en base a la desviación estándar de los datos obtenidos de la OIE y la FAO en los últimos cinco años.
- Incertidumbre asociada a **R(S<sub>m</sub>)**: La incertidumbre asociada a la supervivencia del VNC en el material de riesgo importada se la categorizó en insignificante, baja, media y alta en base a la disponibilidad y calidad de información que existe publicada sobre la supervivencia del virus del material de riesgo importado.

Tabla 27. Interpretación de las categorías para expresar la incertidumbre asociados a los riesgos estimados en la liberación. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.

| Categorías de incertidumbre | Interpretación  |
|-----------------------------|---|
| Insignificante              | Los datos son muy completos y sólidos. No existen referencias que proporcionen conclusiones diferentes.   |
| Baja                        | Existen algunos datos que no son completos y sólidos. Hay una fuerte evidencia proporcionada por múltiples referencias y los autores proporcionan las mismas conclusiones.  |
| Media                       | La evidencia es proporcionada por pocos números de referencias, las conclusiones de los autores varían. Los datos no son completos.   |
| Alta                        | Hay escasos, o en algunos casos, ningún dato disponible. La evidencia no está disponible en referencias o se encuentra en informes no publicados o basados en observaciones o comunicaciones personales, las conclusiones de los autores pueden variar considerablemente entre ellos. |

La metodología desarrollada para evaluar el riesgo de liberación de cada una de las vías analizadas se describe a continuación:

#### *IV-1.3.1.a. Volumen de productos/subproductos avícolas importados*

Como se dijo anteriormente en la introducción de este estudio, la importación de productos y subproductos avícolas ha sido tanto históricamente como en la actualidad una de las principales vías de introducción del VNC a un país o zona libre.

Los huevos SPF han sido excluidos del análisis debido a que el riesgo asociado a la supervivencia del VNC en estos productos se considera insignificante por el tipo de material del que se trata.

Para determinar si el número de cada uno de los productos y subproductos importados desde un país hacia la Rep. Argentina representa una cantidad insignificante, bajo, medio o alto se realizó una distribución de todos los datos de importación de cada uno de los productos y subproductos mediante el uso del método de clasificación de cortes naturales de Jenks. La cantidad de cada uno de los productos y subproductos importados se ha medido en Kg. Se le ha asignado un valor cualitativo de 4 al riesgo relativo alto, 3 al riesgo relativo medio, 2 al riesgo relativo bajo y 1 al riesgo relativo insignificante.

Para determinar si un país importador tiene una población avícola, alta, media, baja o insignificante se determinó la distribución mediante el uso del método de clasificación de cortes naturales de Jenks de la población avícola de los países exportadores a la Rep. Argentina con los datos obtenidos de la OIE y la FAO. Se le ha asignado un valor cualitativo de 4 al riesgo relativo alto, 3 al riesgo relativo medio, 2 al riesgo relativo bajo y 1 al riesgo relativo insignificante.

En relación a la prevalencia del VNC de los países importadores, se determinó si el número de focos de un país era alto, medio, bajo o insignificante mediante la distribución de los brotes con el método de clasificación de cortes naturales de Jenks obtenidos de la OIE. Se le ha asignado un valor cualitativo de 4 al riesgo relativo alto, 3 al riesgo relativo medio, 2 al riesgo relativo bajo y 1 al riesgo relativo insignificante.

Para cada uno de los productos y subproductos importados a la Rep. Argentina se evaluó el riesgo relativo asociado a la supervivencia del VNC mediante una escala descriptiva en base a la bibliografía consultada. Se le ha asignado un valor de 4 al riesgo relativo alto, 3 al medio, 2 al bajo y 1 al riesgo relativo insignificante. La clasificación obtenida esta descrita en la tabla 28.

Tabla 28. Clasificación según la supervivencia del VNC en los productos y subproductos avícolas.

Fuente: Elaboración propia.

| Riesgo relativo alto | Riesgo relativo medio          | Riesgo relativo bajo | Riesgo relativo insignificante |
|----------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Carnes frescas       | Huevos derivados               | Plumas               | Huevos SPF                     |
| Carnes procesadas    | Harinas animales               | Opoterápicos         |                                |
| Vísceras             | Fiambres chacinados            |                      |                                |
|                      | Otros subproductos comestibles |                      |                                |

El riesgo relativo de liberación del VNC a la Rep. Argentina para cada uno de los productos y subproductos avícolas analizados se los clasificó en alto, medio, bajo e insignificante dependiendo del resultado de la multiplicación de los cuatro parámetros.

*IV-1.3.1.b. Volumen de aves vivas importadas*

La importación de aves vivas junto con la importación de productos y subproductos avícolas es una de las principales causas de introducción del VNC a un país libre.

Para determinar el riesgo relativo de ingreso del VNC por aves vivas importadas se realizó el mismo procedimiento explicado que para determinar el riesgo relativo de ingreso del VNC por productos y subproductos avícolas. Se evaluó el riesgo relativo de introducción por aves vivas importadas con los mismos parámetros, el riesgo relativo asociado a la supervivencia del VNC e importancia epidemiológica en las aves, riesgo relativo asociado a la prevalencia de la infección del país de procedencia, riesgo relativo asociado a la población de aves de los países importadores y el riesgo relativo a la cantidad de aves vivas importadas.

Para determinar el riesgo relativo asociado a la supervivencia e importancia epidemiológica del VNC en cada uno de los diferentes grupos de aves se les asignaron un valor de 4 a aquellas aves que suponen un riesgo relativo alto, 3 al riesgo relativo medio, 2 al riesgo relativo bajo y 1 al riesgo relativo insignificante en base a la bibliografía científica consultada (Tabla 29).

Tabla 29. Clasificación según la supervivencia e importancia epidemiológica del VNC en los diferentes grupos de aves. Fuente: Elaboración propia.

| Riesgo relativo alto | Riesgo relativo medio | Riesgo relativo bajo |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Pollos               | Psitácidas            | Aves ornamentales    |
| Palomas              | Pavos/patos           |                      |

El riesgo relativo de liberación del VNC a la Rep. Argentina de cada grupo de aves se los clasificó en alto, medio, bajo e insignificante de acuerdo al resultado obtenido de la multiplicación de los cuatro parámetros.

*IV-1.3.1.c. Volumen de huevos fértiles importados*

Al igual que para la importación de productos y subproductos avícolas y aves vivas se recopiló la información del volumen de huevos fértiles importados.

Para evaluar el riesgo de ingreso del VNC por huevos fértiles importados se realizó el mismo procedimiento que para evaluar el riesgo de ingreso del VNC por



productos/subproductos avícolas y por aves vivas importadas, utilizándose para su evaluación los mismos parámetros (el riesgo relativo asociado a la supervivencia del VNC en huevos fértiles, riesgo relativo asociado a la prevalencia de la infección del país de procedencia, riesgo relativo asociado a la población de aves de los países importadores y relativo asociado a la cantidad de huevos fértiles importados).

El riesgo relativo de liberación del VNC a la Rep. Argentina por huevos fértiles se los clasificó en alto, medio, bajo e insignificante de acuerdo al resultado obtenido de la multiplicación de los cuatro parámetros.

#### IV-1.3.2. Evaluación de la exposición

Una vez que fue realizada la evaluación de la liberación de cada una de las vías, se realizó la evaluación de la exposición. Se valoró la probabilidad que existe que el VNC pueda contactar con alguna especie susceptible en la Rep. Argentina a partir de las vías de ingreso analizadas.

La evaluación del riesgo de exposición (**Re**) se realizó en base a tres parámetros:

1. Tipo de contacto (**C**).
2. Capacidad infectiva del material con el VNC (**Cim**).
3. Riesgo asociado a la probabilidad de contacto (**Pc**).

El riesgo de exposición (**Re**) del VNC puede expresarse de la siguiente manera:

$$\mathbf{Re = R(C) \times R(Cim) \times R(Pc)}$$

De la formula enunciada anteriormente, **R(C)** corresponde al riesgo de contacto de un ave doméstica susceptible con el VNC a partir de su liberación con el material de riesgo, evalúa si el contacto es directo o indirecto y además depende del tipo de material de riesgo involucrado. El riesgo asociado al parámetro **C** se lo categorizó entre insignificante y alto en base a la información obtenida en la sección I-1.1.1 y I-1.2.

El **R(C<sub>im</sub>)** es el riesgo asociado a la capacidad infectiva que tiene el material de riesgo. El riesgo asociado al parámetro **C<sub>im</sub>** fue categorizado entre insignificante y alto en base a lo descrito en la sección I-1.1.1.

El **R(P<sub>c</sub>)** es el riesgo asociado a la probabilidad de contacto que tiene el material de riesgo. El riesgo asociado al parámetro **P<sub>c</sub>** fue categorizado entre insignificante y alto en función si el material de riesgo es utilizado para consumo animal o humano.

La probabilidad de ocurrencia de cada uno de los parámetros de la evaluación del riesgo de exposición (**R<sub>e</sub>**) fueron clasificados mediante escalas descriptivas, las categorías de riesgo utilizadas fueron entre insignificante y alto, cada una de las clasificaciones está explicada en la tabla 30.

Tabla 30. Interpretación de las categorías de riesgo utilizadas en la evaluación cualitativa del riesgo de exposición. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.

| Categorías de riesgo | Interpretación                                      |
|----------------------|---|
| Insignificante       | El evento es tan raro que no merece ser considerado |
| Bajo                 | El evento es raro pero puede ocurrir                |
| Medio                | El evento ocurre regularmente                       |
| Alto                 | El evento ocurre casi con seguridad                 |

Al igual que para el riesgo de liberación la incertidumbre fue evaluada para el riesgo de exposición, la interpretación de los niveles de incertidumbre están representados en la tabla 31.

La incertidumbre asociada al riesgo de contacto de un ave doméstica susceptible con el VNC a partir de su liberación con el material de riesgo evaluado **R(C)** fue categorizada entre insignificante, baja, media y alta según la disponibilidad y calidad de información que existe del material de riesgo importado.





Tabla 31. Interpretación de las categorías para expresar la incertidumbre asociados a los riesgos estimados en la exposición. Fuente: Tabla adaptada de EFSA, 2006 b.

| Categorías de incertidumbre | Interpretación  |
|-----------------------------|---|
| Insignificante              | Los datos son muy completos y sólidos. No existen referencias que proporcionen conclusiones diferentes.   |
| Baja                        | Existen algunos datos que no son completos y sólidos. Hay una fuerte evidencia proporcionada por múltiples referencias y los autores proporcionan las mismas conclusiones.  |
| Media                       | La evidencia es proporcionada por pocos números de referencias, las conclusiones de los autores varían. Los datos no son completos.   |
| Alta                        | Hay escasos, o en algunos casos, ningún dato disponible. La evidencia no está disponible en referencias o se encuentra en informes no publicados o basados en observaciones o comunicaciones personales, las conclusiones de los autores pueden variar considerablemente entre ellos. |

#### IV-1.3.3. La evaluación del riesgo total

La evaluación del riesgo total (**R<sub>t</sub>**) como se mencionó anteriormente se realizó una vez que se determinó el riesgo de liberación y la evaluación de la exposición. Se identificaron las vías de mayor riesgo de introducción como así también los países que suponen un mayor riesgo.

La incertidumbre asociada al riesgo total fue realizada mediante la multiplicación de la incertidumbre asociada a la liberación y la incertidumbre asociada a la exposición.

#### IV-1.3.4. Representación de los resultados

La representación de los resultados del análisis semi-cuantitativo del riesgo de liberación, riesgo de exposición y del riesgo total del VNC en la Rep. Argentina se realizó mediante mapas utilizando el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI) y utilizando gráficos con el programa Excel (12.0).



## IV-2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PATRONES DE CONTACTOS DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA

---

### IV-2.1. Estudio descriptivo preliminar de las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina

Se ha realizado un análisis descriptivo de las granjas avícolas ubicadas en la Rep. Argentina con los registros del año 2011, registros oficiales, aportados por la Coordinación General de Campo (CGC) del Senasa. Para el procesado de la información recabada se realizó previamente una recopilación de datos en una base propia creada para tal fin (Microsoft Access 2007, Microsoft, Redmond, USA).

Los registros aportados contenían detalles actualizados de las granjas avícolas comerciales de la Rep. Argentina, los datos de las granjas incluían:

- Número de registro individual de cada granja (Renspa)
- Provincia y Departamento de la localización de la granja
- Coordenada geográfica de la granja (latitud, longitud)
- Tipo de producción de la granja
- Especie de ave
- Características de infraestructura y de manejo de la granja
- Categoría de bioseguridad de la granja

Aquellos registros que estaban incompletos y los datos erróneos fueron eliminados de la base de datos para su análisis. En total se eliminaron menos del 0.5% de los registros totales de la base de datos.

El análisis descriptivo fue realizado utilizando gráficos con el programa Excel (12.0) y los mapas de las granjas fueron creados mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).



#### **IV-2.2. Descripción espacio-temporal y análisis de los patrones de movimientos de aves vivas en la Rep. Argentina durante el año 2009 y 2010**

Para describir el patrón de los movimientos directos, patrones espacio-temporales, de aves entre granjas se ha realizado un análisis exploratorio del total de los movimientos registrados en la Rep. Argentina desde enero del 2009 hasta diciembre 2010 (ambos inclusive) usando la metodología del análisis de redes y algoritmos de la teoría de grafos (ver introducción al análisis de redes y su aplicación en el sector veterinario, sección I-5.2).

Los datos que describen los movimientos de aves fueron obtenidos de la CGC del Senasa e importados a una base de datos propia creada para este fin (Microsoft Access, Microsoft, Redmond, USA).

La información de la base de datos analizada contenía detalles individuales de las granjas tanto de origen y destino, además de los datos individuales de cada movimiento (Figura 21). La información disponible en la base de datos fue la siguiente:

- Número de registro individual de cada granja (Renspa)
- Provincia y Departamento de la localización de la granja
- Coordenada geográfica de la granja (latitud y longitud)
- Tipo de producción de la granja
- Fecha del movimiento (día, mes y año)
- Cantidad y especie involucrada en cada movimiento
- Características de infraestructura y de manejo de la granja
- Categoría de bioseguridad de la granja



| RENSPA ORIGEN | PROV ORIGEN  | DEPTO ORIGEN       | RENSPA DEST | PROV DEST | PART DEST      | LAT DESTINO    | LONG DEST      | CANTIDA | Categoria   | FECHA      | TIPO PROD     |
|---------------|--------------|--------------------|-------------|-----------|----------------|----------------|----------------|---------|-------------|------------|---------------|
| 07.01         | ENTRE RIOS   | PARANA             | 23.017.0.   | TUCUMAN   | YERBA BUENA    | -32.02556      | -65.3467200454 | 6000    | PONEDORA    | 4/13/2009  | SD            |
| 07.00         | ENTRE RIOS   | DIAMANTE           | 23.017.0.   | TUCUMAN   | YERBA BUENA    | -31.9825       | -65.3467200454 | 4000    | POLLITOS BI | 6/8/2009   | SD            |
| 23.00         | TUCUMAN      | BURRUYACU          | 23.017.0.   | TUCUMAN   | YERBA BUENA    | -26.71609      | -65.3467200454 | 60      | OTRAS AVE   | 9/16/2009  | SD            |
| 23.00         | TUCUMAN      | SAN MIGUEL DE TUCU | 23.017.0.   | TUCUMAN   | YERBA BUENA    | -26.79077      | -65.3467200454 | 60      | OTRAS AVE   | 9/16/2009  | SD            |
| 01.07         | BUENOS AIRES | MARCOS PAZ         | 23.016.0.   | TUCUMAN   | TRANCAS        | -34.79722      | -65.32194      | 16000   | POLLITOS BI | 9/7/2009   | Produccion de |
| 01.07         | BUENOS AIRES | MARCOS PAZ         | 23.016.0.   | TUCUMAN   | TRANCAS        | -34.79722      | -65.32194      | 8000    | POLLITOS BI | 11/20/2009 | Produccion de |
| 01.07         | BUENOS AIRES | MARCOS PAZ         | 23.016.0.   | TUCUMAN   | TRANCAS        | -34.79722      | -65.32194      | 7700    | POLLITOS BI | 7/13/2009  | Produccion de |
| 01.07         | BUENOS AIRES | MARCOS PAZ         | 23.016.0.   | TUCUMAN   | TRANCAS        | -34.79722      | -65.32194      | 15500   | POLLITOS BI | 7/8/2009   | Produccion de |
| 01.07         | BUENOS AIRES | MARCOS PAZ         | 23.016.0.   | TUCUMAN   | TRANCAS        | -34.79722      | -65.32194      | 13500   | POLLITOS BI | 11/18/2009 | Produccion de |
| 03.00         | CORDOBA      | CAPITAL            | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -31.49167      | -65.4553514189 | 200     | PARRILLERO  | 10/16/2009 | SD            |
| 01.10         | BUENOS AIRES | SAN VICENTE        | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.95259      | -65.4553514189 | 30      | REPRODUCT   | 6/10/2009  | SD            |
| 01.10         | BUENOS AIRES | SAN VICENTE        | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.95259      | -65.4553514189 | 18      | PONEDORA    | 6/17/2009  | SD            |
| 01.10         | BUENOS AIRES | SAN VICENTE        | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.95259      | -65.4553514189 | 40      | REPRODUCT   | 11/25/2009 | SD            |
| 01.10         | BUENOS AIRES | SAN VICENTE        | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.95259      | -65.4553514189 | 30      | REPRODUCT   | 8/18/2009  | SD            |
| 01.10         | BUENOS AIRES | SAN VICENTE        | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.95259      | -65.4553514189 | 30      | OTRAS AVE   | 1/30/2009  | SD            |
| 01.10         | BUENOS AIRES | SAN VICENTE        | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.95259      | -65.4553514189 | 8       | REPRODUCT   | 2/3/2009   | SD            |
| 01.11         | BUENOS AIRES | TIGRE              | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.40608      | -65.4553514189 | 35      | REPRODUCT   | 12/11/2009 | SD            |
| 01.11         | BUENOS AIRES | TIGRE              | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.40608      | -65.4553514189 | 12      | REPRODUCT   | 12/28/2009 | SD            |
| 01.11         | BUENOS AIRES | TIGRE              | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.40608      | -65.4553514189 | 40      | REPRODUCT   | 11/24/2009 | SD            |
| 01.11         | BUENOS AIRES | TIGRE              | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.40608      | -65.4553514189 | 30      | REPRODUCT   | 9/7/2009   | SD            |
| 01.11         | BUENOS AIRES | TIGRE              | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.40608      | -65.4553514189 | 30      | REPRODUCT   | 7/27/2009  | SD            |
| 01.11         | BUENOS AIRES | TIGRE              | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -34.40608      | -65.4553514189 | 12      | REPRODUCT   | 7/30/2009  | SD            |
| 05.00         | CHACO        | COMANDANTE FERN    | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -26.7876659797 | -65.4553514189 | 12      | OTRAS AVE   | 9/8/2009   | SD            |
| 05.00         | CHACO        | COMANDANTE FERN    | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -26.7876659797 | -65.4553514189 | 6       | OTRAS AVE   | 9/10/2009  | SD            |
| 05.00         | CHACO        | COMANDANTE FERN    | 23.015.0.   | TUCUMAN   | TAFI VIEJO     | -26.7876659797 | -65.4553514189 | 4       | OTRAS AVE   | 9/10/2009  | SD            |
| 01.06         | BUENOS AIRES | LOMAS DE ZAMORA    | 23.014.0.   | TUCUMAN   | TAFI DEL VALLE | -34.73675      | -65.8789639602 | 200     | POLLITOS BI | 11/18/2009 | SD            |
| 01.06         | BUENOS AIRES | LOMAS DE ZAMORA    | 23.014.0.   | TUCUMAN   | TAFI DEL VALLE | -34.73675      | -65.8789639602 | 200     | POLLITOS BI | 11/30/2009 | SD            |
| 01.06         | BUENOS AIRES | LOMAS DE ZAMORA    | 23.014.0.   | TUCUMAN   | TAFI DEL VALLE | -34.73675      | -65.8789639602 | 200     | POLLITOS BI | 4/13/2009  | SD            |
| 01.06         | BUENOS AIRES | LOMAS DE ZAMORA    | 23.014.0.   | TUCUMAN   | TAFI DEL VALLE | -34.73675      | -65.8789639602 | 200     | POLLITOS BI | 4/13/2009  | SD            |

Figura 21. Esquema de la tabla de datos creada de los registros de los movimientos de aves comerciales entre granjas.

Solo fueron analizados los movimientos directos de aves de granja a granja, los movimientos de granjas a mataderos y hacia los mercados (exposiciones de aves) no fueron considerados en este análisis.

Los datos erróneos o incompletos de los movimientos registrados en la base de datos aportada por el Senasa fueron eliminados. Concretamente se eliminó el 0.01% del total de los registros.

Como se explicó anteriormente en la introducción, en una red de movimientos hay dos elementos esenciales, nodos y contactos (Bigras-Poulin, 2006). Los nodos en este estudio corresponden a las granjas de aves comerciales de la Rep. Argentina y los contactos a los movimientos directos de aves comerciales entre granjas durante el período de observación (enero del 2009 hasta diciembre de 2010, ambos inclusive).

El análisis de las redes de los movimientos de aves comerciales se realizó mediante la obtención de distintas medidas, con el fin de establecer “nodos importantes” dentro de la red, medir patrones de contacto y comparar las redes de ambos años. Concretamente se usaron medidas de centralidad, que fueron: *centralidad de grado (degree centrality)*, tanto



de movimientos entrantes (*in-degree*) como salientes (*out-degree*), y medidas de *centralidad de cercanía* (*closeness centrality*) de movimientos entrantes (*in-closeness*) y salientes (*out-closeness*).

La *centralidad de grado* es una medida del número de contactos que se mueven desde y hacia un nodo específico. Si se considera a una red indirecta, la centralidad de grado  $cD(v)$  de un vértice  $v$  es definido simplemente como el grado  $d(v)$  de  $v$ . En este estudio se tuvo en cuenta la dirección del movimiento por lo que se los separó en *out-degree* (es el número de contactos que salen de un nodo) y el *in-degree* (número de contactos con una dirección hacia un nodo) (Wasserman et. al, 1994), que matemáticamente se representan como  $coD(v) = d^+(v)$  y  $ciD(v) = d^-(v)$  respectivamente.

La *centralidad de cercanía* es un estimador que determina la cercanía relativa de un nodo con los demás de la red (Beauchamp, 1965; Sabidussi, 1966; Freeman, 1977), es decir, el número de contactos necesarios para que cualquier nodo de la red llegue a un determinado nodo (*in-closeness*) o para llegar a cualquier nodo desde un determinado nodo (*out-closeness*). Matemáticamente, podemos expresar la centralidad de cercanía como el inverso a la suma de las distancias de un nodo con los demás de la red, o sea  $Ci = \frac{1}{\sum_j dij}$  donde  $dij$  es la distancia entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ . Valores altos de cercanía indican una mayor capacidad del nodo para contactar con los demás nodos de la red.

Además de las medidas de centralidad se describieron las características de la red (número de nodos y contactos) así como las distancias recorridas de los movimientos que fueron calculadas usando la distancia euclídea.

Las coordenadas geográficas de las granjas que no estaban georreferenciadas (menos del 5% del total de las granjas registradas en la base de datos) se asumió igual a la coordenada del centroide del departamento donde estaban ubicadas.

El análisis de los datos fue realizado mediante el lenguaje R (R.2.10.1) de la librería Igraph.

Las redes de movimientos obtenidas fueron representadas mediante el programa informático Arc View 3.2 (mediante la herramienta Crime Analysis) y con el ArcGIS versión 9.3 (ESRI) utilizando el método de densidad Kernel. El método de densidad de Kernel es una técnica que se aplica para representar densidades en mapas y que está basada en la función Kernel cuadrática que ha sido descrita por Silverman (1986).



### IV-3. MODELO DE DIFUSIÓN DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA

El estudio de la difusión potencial del VNC fue realizado mediante la simulación de una epidemia dentro de la red de contactos entre explotaciones aviares en diferentes escenarios (ej. distinto tiempo, espacio y tipo de producciones) con el fin de poder comprender la dinámica de la difusión del VNC entre las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina así como de cuantificar la magnitud y duración de una potencial epidemia.

#### IV-3.1. Recopilación de la información obtenida para el desarrollo del modelo de difusión del VNC en la Rep. Argentina

Para el desarrollo del modelo de difusión del VNC en la Rep. Argentina se utilizó la red de contactos de movimientos de aves entre granjas comerciales de la Rep. Argentina desde enero a diciembre del 2010, ambos inclusive. La base de datos de los movimientos de aves fue aportada por la CGC del Senasa. La red analizada estuvo compuesta por 6.458 nodos (granjas comerciales de aves) y 50.566 conexiones entre nodos (movimientos de aves comerciales entre granjas).

#### IV-3.2. Supuestos y parámetros empleados en el modelo de difusión

La difusión del VNC en la Rep. Argentina fue evaluada mediante un modelo determinístico SIR (*Susceptible, Infectado, Removed -eliminado-*) basado en la red real de contactos entre explotaciones comerciales en la Rep. Argentina (network-based SIR model) (Figura 22). Además, se ha incorporado a este modelo, la difusión de la enfermedad dentro de la granja (intra-granja), considerando la probabilidad de que un ave movilizada estuviese infectada en función de la situación sanitaria de la granja.

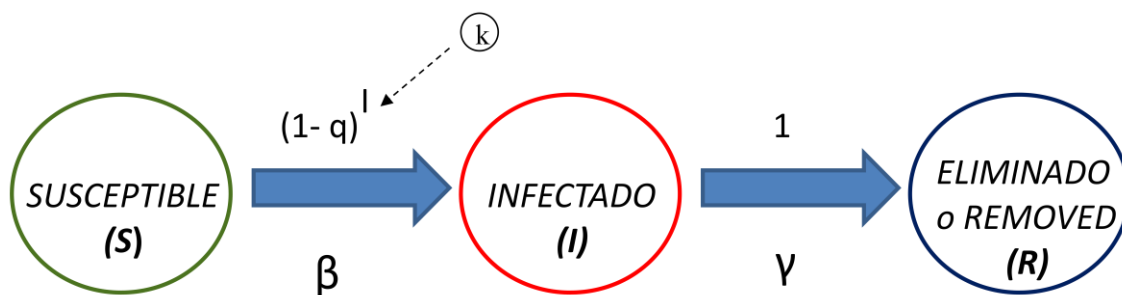


Figura 22. Esquema de los estados posibles en los que puede estar cada granja y la transición entre los mismos.

Se asumió en este modelo que la población de cada granja es constante en el período de estudio y que la probabilidad de infección tras un contacto no es la misma para todos los individuos, y que esa población está dividida en tres estados mutuamente excluyentes para cada período de tiempo  $t$  (días) en los que puede encontrarse una granja. Los estados que fueron considerados son: **Susceptible** (granjas con aves susceptibles a la infección), **Infectado** (granjas con aves infectadas e infecciosas) y **Eliminado -removed-** (granjas donde se ha realizado el sacrificio de las aves).

La ecuación de este modelo SIR se describe a continuación:

$$I_{t+1} = S_t * (1 - q^{I_t})$$

Tabla 32. Parámetros utilizados en el modelo de simulación y su significado.

| Símbolo   | Significado   |
|-----------|---|
| $t$       | Período de tiempo   |
| $I_{t+1}$ | Número de casos infectados en el período de tiempo $t+1$  |
| $S_t$     | Número de individuos susceptibles en el período $t$   |
| $q$       | $1 - p$ = la probabilidad que un individuo evite un contacto adecuado   |
| $\beta$   | Tasa de transmisión $k/(N-1)$   |
| $k$       | Número de vecinos infectados que se producen en un período de tiempo. Este número depende de la red real de contactos entre explotaciones avícolas en Argentina |
| $\gamma$  | Tasa de recuperación de la infección o que son eliminados   |

Concretamente el modelo se utilizó para evaluar la difusión potencial de la enfermedad en el período de alto riesgo (ej. período desde la entrada de la enfermedad o primo-infección hasta la detección de la misma por las autoridades competentes). Se seleccionaron 14 escenarios diferentes (Figura 23) basados en distintos casos índices (ej. granjas primo-infectadas) y, a su vez, se realizaron para cada una de las granjas tres simulaciones en diferentes meses de año 2010. Como resultado, se obtuvieron 42 epidemias diferentes. La duración máxima de cada epidemia simulada, en cada una de las 14 granjas, fue de 16



días, que fue el tiempo máximo asumido que podría durar el período de alto riesgo en la Rep. Argentina. Se realizaron simulaciones en diferentes meses del año (abril, junio y octubre) para evaluar el impacto que las variaciones temporales de la estructura comercial entre granjas pueden tener en la difusión de la enfermedad.

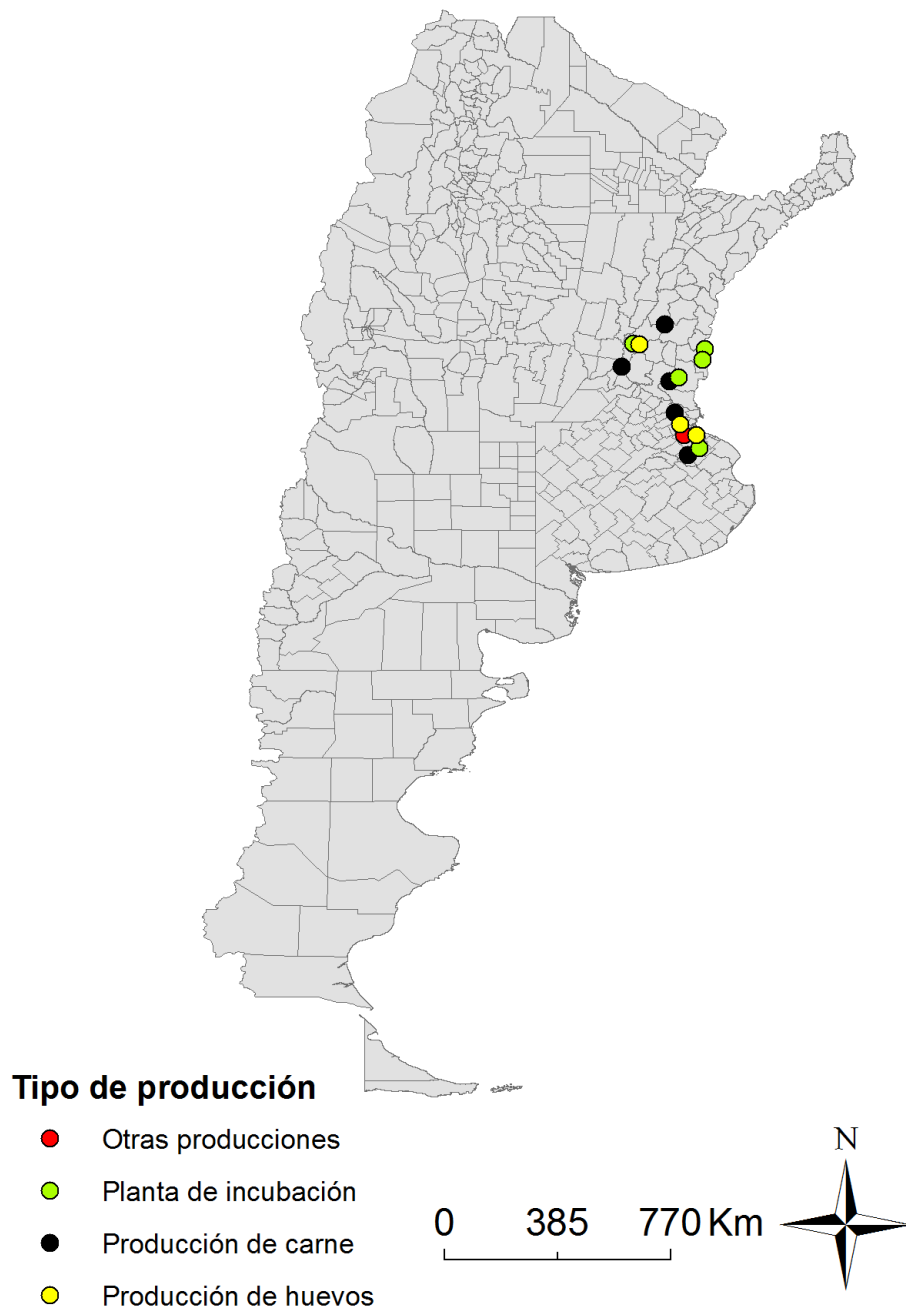


Figura 23. Localización de las granjas primoinfectadas (casos índices) para el modelo de simulación del VNC en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).





Durante la simulación de la epidemia del VNC se obtuvieron datos sobre la cantidad de contactos (nodos y animales) primarios y secundarios. El término contacto primario hace referencia a aquellas granjas o animales infectados o movilizados en forma directa a partir del caso índice (granja primo-infectada), mientras que los contactos secundarios son aquellas granjas o animales infectados o movilizados desde un contacto primario.

También se realizó una simulación de una epidemia con una duración de 12 semanas, comenzando por la semana N° 36 del 2010, para lo cual se seleccionaron dos escenarios diferentes. El caso índice utilizado para el escenario N° 1 correspondió a una granja con un alto valor de out-degree y para escenario N° 2 el caso índice seleccionado correspondió a una granja con alto número de contactos secundarios. El objetivo de realizar estas simulaciones de 12 semanas de duración fue poder identificar variaciones por semana del número de animales y nodos primarios y secundarios afectados, y así poder evaluar cómo afecta el tiempo de detección ante una epidemia del VNC en relación a la cantidad de animales y granjas afectadas.

La selección de los casos índices, tanto para la simulación de 16 días como de 12 semanas de duración fue realizada en base a las granjas identificadas previamente en el apartado IV-2.2 como nodos “importantes” en la difusión del virus debido a su alto valor de out-degree, alto número de contactos secundarios. Además de la elección de estas granjas fueron seleccionadas otras granjas como casos índices con valores de out-degree y contactos secundarios bajos con el fin de evaluar si existe alguna diferencia entre ellas.

A su vez, se seleccionaron granjas con distintos tipos de producciones, como producción de carne, producción de huevos y granjas de incubación para evaluar posibles diferencias en la magnitud y duración de las epidemias en función del tipo de caso índice.

El modelo de difusión del VNC para la Rep. Argentina no pudo ser validado debido a la falta de datos de las epidemias pasadas en el país.

El análisis y la representación de los resultados del modelo de difusión se realizó utilizando el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace (Figura 24). Además para el análisis de los datos de los contactos por fecha, se utilizó el programa Microsoft Access (Microsoft, Redmond, USA) y la representación de los resultados fueron realizados mediante gráficos creados con el programa Excel (12.0). Los mapas fueron creados mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).



```

library(EpiContactTrace)
setwd("C:\\")
aves<- read.table("aves.txt", header = TRUE, sep = " ")
t<-as.Date(aves[,4], format = "%Y-%m-%d")
avesfin<-data.frame(aves[,1],aves[,2],aves[,3],t,aves[,5],aves[,6])
names(avesfin) <- c("source","destination","id","t","n","category")
save(avesfin, file = "avesfin.rda")
setwd('F:\\Nuevo modelo\\ejemplo por semana')
library(EpiContactTrace)
data(avesfin)
summary(avesfin[,1])
# Perform contact tracing
contactTrace <- Trace(movements=avesfin,
                      root='07.007.0.',
                      tEnd='2010-12-31',
                      days=364)

show(contactTrace)
par(mfrow = c(1, 1), mai=c(0.1,0.1,0.1,0.1))
plot(contactTrace)
NetworkSummary(contactTrace)
NetworkStructure(contactTrace)
ShortestPaths(contactTrace)
str(contactTrace@outgoingContacts)
Report(contactTrace)
#####Los 10 nodos mas importantes segun el out degree###
contactTrace <- Trace(movements=avesfin,
                      root='07.007.0.',
                      tEnd='2010-12-31',
                      days=364)

#####
###cada uno de los 10 mejores en diferentes meses ###
#####
contactTrace <- Trace(movements=avesfin,
                      root='007.012.0.',
                      tEnd='2010-4-16',
                      days=15)
contactTrace <- Trace(movements=avesfin,
                      root='01.077.0',
                      tEnd='2010-6-16',
                      days=15)
###los dos ejemplos por semanas ###

contactTrace <- Trace(movements=avesfin,
                      root='07.007.0.',
                      tEnd='2010-12-1',
                      days=7)

```

Figura 24. Esquema del código creado en lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace.





## **V. RESULTADOS**



## V. RESULTADOS

En esta sección se detallan los principales resultados obtenidos correspondientes a:

1. Análisis del riesgo de entrada potencial del VNC en la Rep. Argentina.
2. Caracterización de la estructura y patrones de contactos del sector avícola en la Rep. Argentina.
  - 2.1. Descripción de las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina.
  - 2.2. Descripción espacio-temporal y análisis de los patrones de movimientos de aves vivas en la Rep. Argentina durante el año 2009 y 2010.
3. Modelo de difusión potencial del VNC en la Rep. Argentina

### V-1. ANÁLISIS DEL RIESGO DE ENTRADA POTENCIAL DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA

---

A continuación se describen los principales resultados obtenidos de la evaluación de la liberación, evaluación de la exposición y de la evaluación del riesgo total de cada una de las vías de ingreso del VNC en la Rep. Argentina.

#### V-1.1. Evaluación del riesgo de liberación

##### V-1.1.1. Evaluación de la liberación de productos/subproductos avícolas importados

La cantidad de productos y subproductos avícolas importados desde marzo del 2001 al 30 diciembre del 2010 hacia la Rep. Argentina se resume en las figuras 25 y 26, y en la tabla 33.

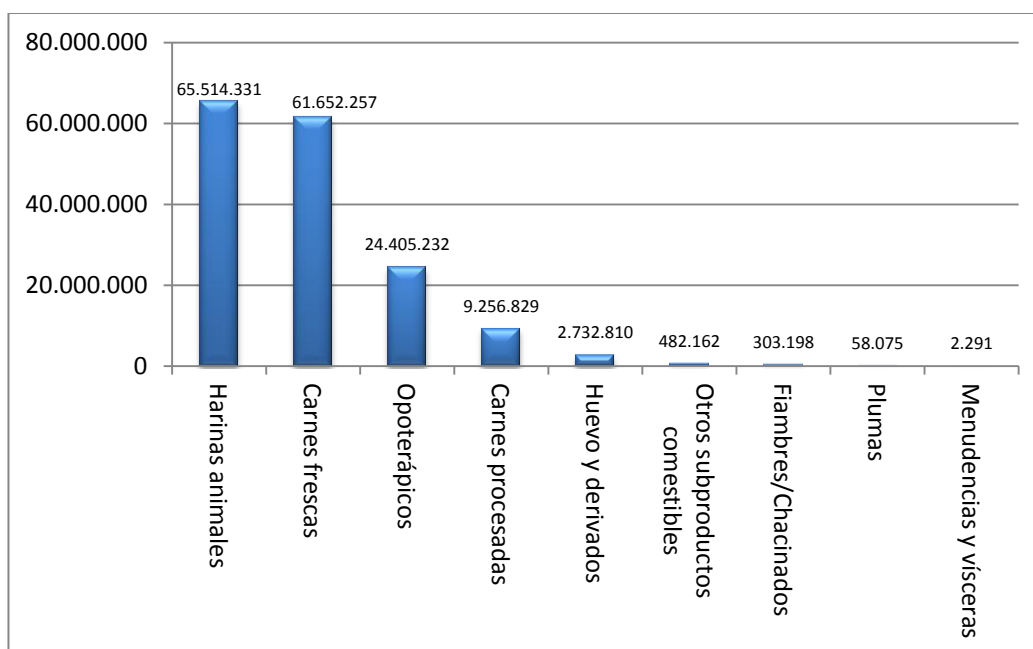


Figura 25. Productos y subproductos avícolas exportados a la Rep. Argentina, en kilogramos.

Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa desde el 2001 al 2010.

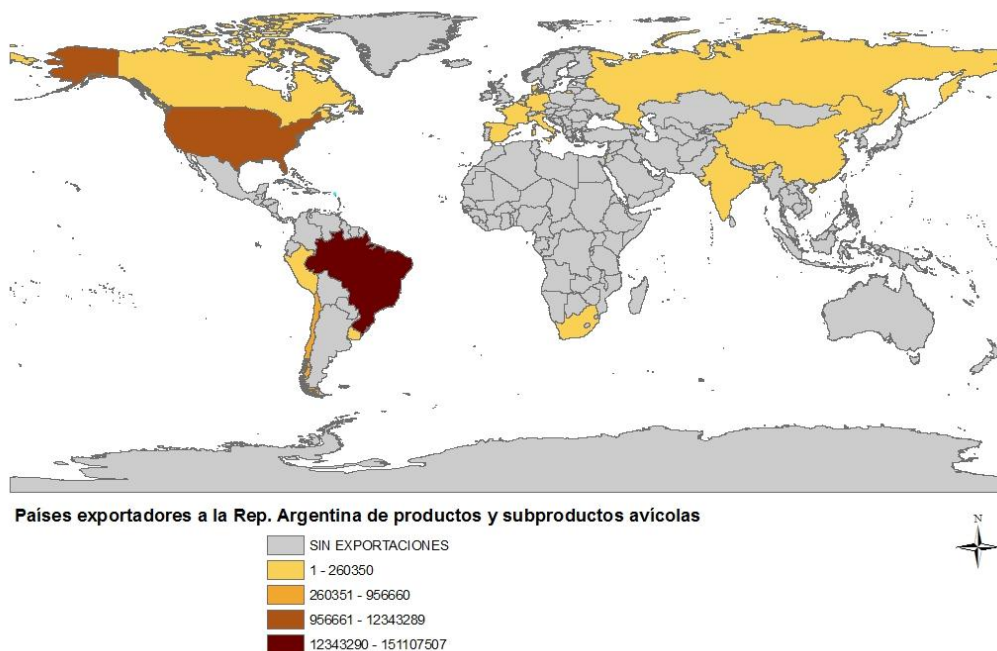


Figura 26. Volumen de productos y subproductos avícolas exportados a la Rep. Argentina, por país de origen. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa, 2011.



Tabla 33. Países exportadores de productos y subproductos avícolas a la Rep. Argentina, por producto y cantidad, datos desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos Senasa, 2011.

| País importador | Producto                       | Kg         |
|-----------------|--------------------------------|------------|
| Alemania        | Otros subproductos comestibles | 3          |
| Alemania        | Huevo y derivados              | 12.986     |
| Bélgica         | Huevo y derivados              | 25         |
| Brasil          | Carnes frescas                 | 60.881.000 |
| Brasil          | Carnes procesadas              | 9.117.514  |
| Brasil          | Fiambres/Chacinados            | 300.558    |
| Brasil          | Harinas animales               | 58.181.740 |
| Brasil          | Huevo y derivados              | 932.133    |
| Brasil          | Opoterápicos                   | 20.715.162 |
| Brasil          | Otros subproductos comestibles | 451.392    |
| Canadá          | Harinas animales               | 1.996      |
| Chile           | Carnes frescas                 | 749.139    |
| Chile           | Carnes procesadas              | 82.395     |
| Chile           | Fiambres/Chacinados            | 1.201      |
| Chile           | Harinas animales               | 150        |
| Chile           | Plumas                         | 2.722      |
| Chile           | Opoterápicos                   | 111.827    |
| Chile           | Otros subproductos comestibles | 9.226      |
| China           | Harinas animales               | 16         |
| China           | Plumas                         | 27.467     |
| China           | Opoterápicos                   | 75.000     |
| Dinamarca       | Harinas animales               | 16.800     |
| España          | Carnes frescas                 | 1.626      |
| Estados Unidos  | Carnes frescas                 | 16.937     |
| Estados Unidos  | Carnes procesadas              | 45.214     |
| Estados Unidos  | Fiambres/Chacinados            | 20         |
| Estados Unidos  | Harinas animales               | 7.305.129  |
| Estados Unidos  | Huevo y derivados              | 1.435.014  |
| Estados Unidos  | Vísceras                       | 466        |
| Estados Unidos  | Opoterápicos                   | 3.500.968  |
| Estados Unidos  | Otros subproductos comestibles | 21.541     |
| Francia         | Carnes frescas                 | 413        |
| Francia         | Carnes procesadas              | 11.673     |
| Francia         | Harinas animales               | 8.000      |
| Francia         | Vísceras                       | 1.813      |
| India           | Huevo y derivados              | 92.000     |
| Israel          | Huevo y derivados              | 260.350    |
| Italia          | Fiambres/Chacinados            | 1.419      |
| Italia          | Huevo y derivados              | 300        |
| Perú            | Carnes frescas                 | 95         |
| Rusia           | Huevo y derivados              | 2          |
| Sudáfrica       | Harinas animales               | 500        |
| Sudáfrica       | Plumas                         | 27.111     |
| Uruguay         | Carnes frescas                 | 3.047      |
| Uruguay         | Carnes procesadas              | 33         |
| Uruguay         | Plumas                         | 775        |
| Uruguay         | Vísceras                       | 12         |
| Uruguay         | Opoterápicos                   | 2.275      |



El país que supone un mayor riesgo relativo asociado al volumen de carnes frescas y carnes procesadas importadas ( $V_m$ ) fue Brasil con un riesgo relativo “**alto**” (Figura 27 y Figura 28). Brasil tiene una incertidumbre asociada “**baja**”, debido a la baja incertidumbre asociada a la confiabilidad de los servicios veterinarios; a la baja variabilidad de los brotes notificados y de la población susceptible, y a la baja variabilidad de la población avícola.

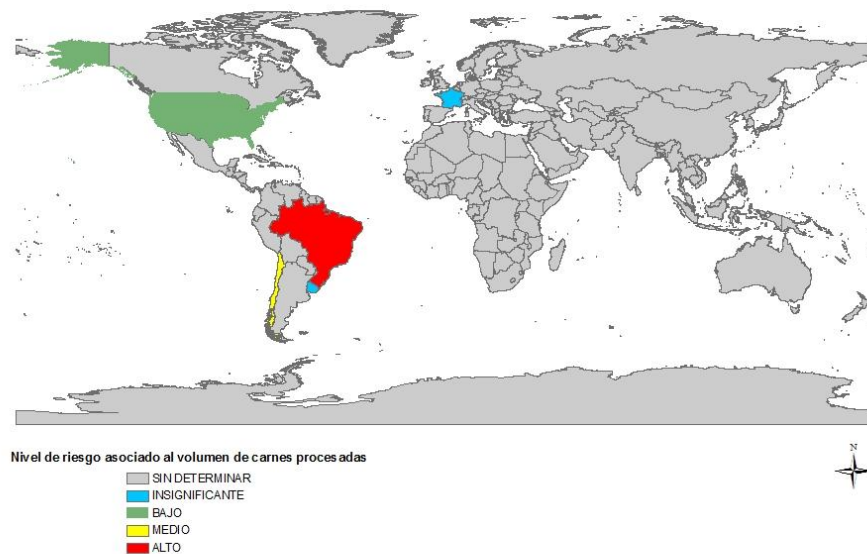


Figura 27. Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de carnes procesadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

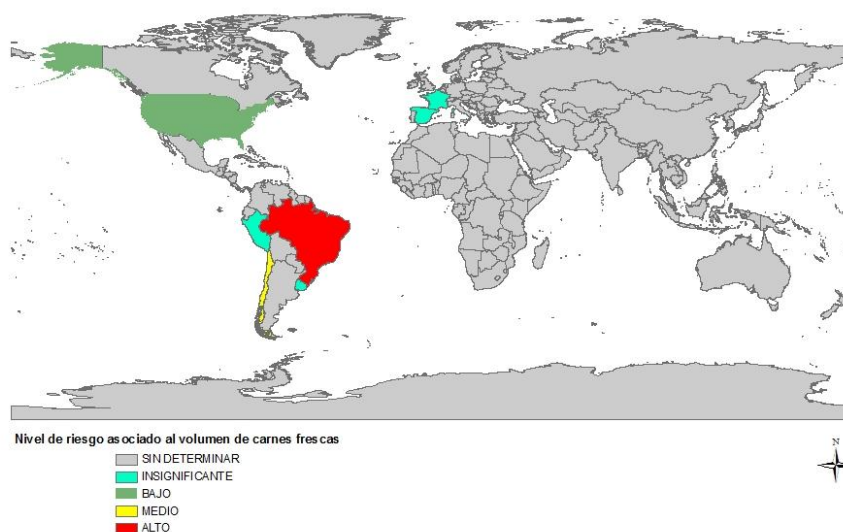


Figura 28. Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de carnes frescas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

Brasil también supone un mayor riesgo relativo **“alto”** asociado al volumen de fiambres y chacinados; otros subproductos comestibles; harinas animales; huevos y derivados y opoterápicos.

Francia tiene un riesgo relativo **“alto”** asociado al volumen de vísceras, mientras que China tiene un riesgo relativo **“alto”** asociado al volumen de plumas.

El riesgo relativo asociado a la situación sanitaria (**Ppm**) de los países que exportan productos y subproductos avícolas fue **“alto”** para China e India (incertidumbre asociada **“alta”**), ambos países notificaron brotes todos los años en los últimos diez años analizados (Figura 29). China exportó a la Rep. Argentina durante el período en estudio solo plumas y opoterápicos, ambos productos con una incertidumbre asociada **“alta”** debido a que existe poca información sobre la supervivencia del virus en estos materiales y además no existen datos sobre el tratamiento y las características del producto importado. India importó huevos y derivados con una incertidumbre asociada a estos productos **“media”**.

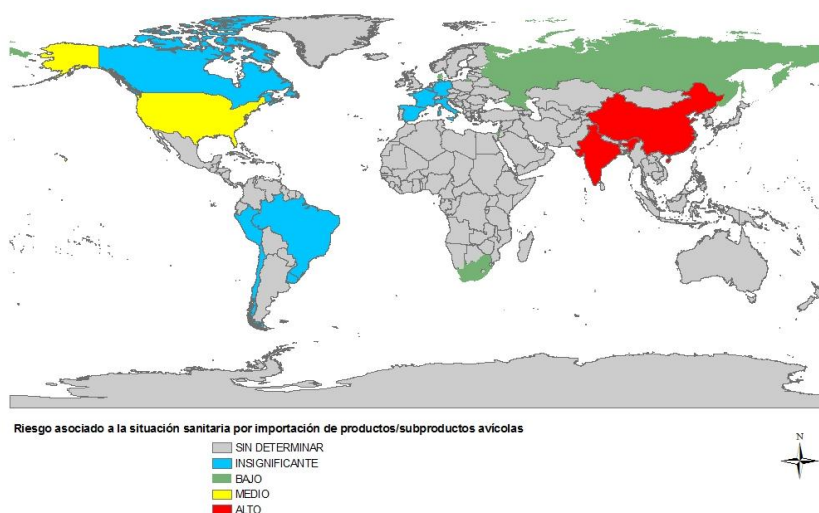


Figura 29. Nivel de riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de productos/subproductos avícolas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo de liberación (**R<sub>i</sub>**) por importaciones de carnes frescas y carnes procesadas fue “**alto**” para Brasil y Estados Unidos (Figura 30 y Figura 31).

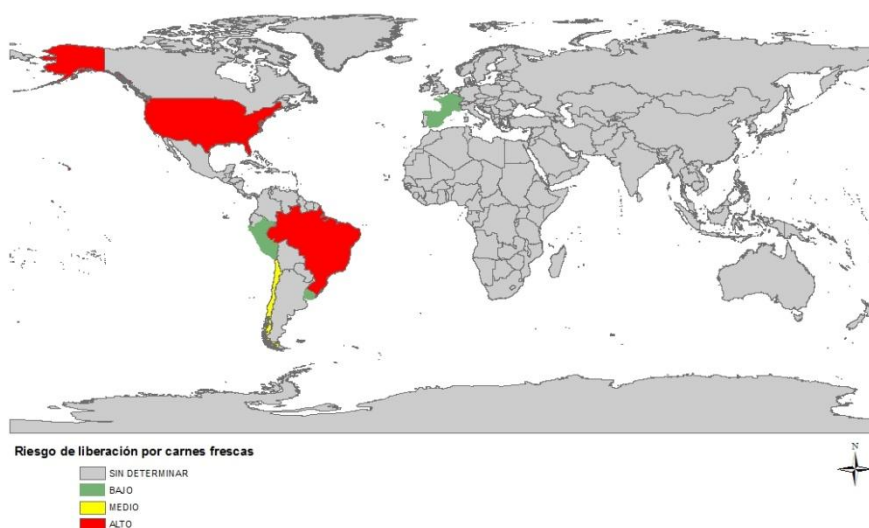


Figura 30. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de carnes frescas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

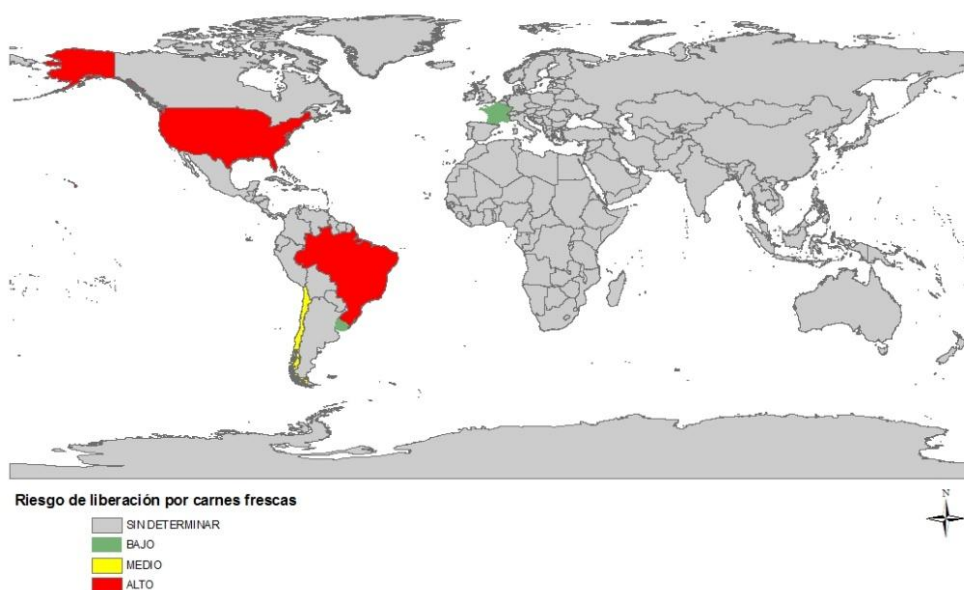


Figura 31. Nivel de riesgo relativo de liberación por las importaciones de carnes procesadas.

Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo (**Ri**) para Estados Unidos fue **“alto”** para vísceras; harinas animales; huevos y derivados; y otros subproductos comestibles. El (**Ri**) para China fue alto en plumas y opoterápicos mientras que para fiambres y chacinados el (**Ri**) fue **“alto”** para Brasil. (Figura 32, 33, 34, 35, 36, 37 y 38).

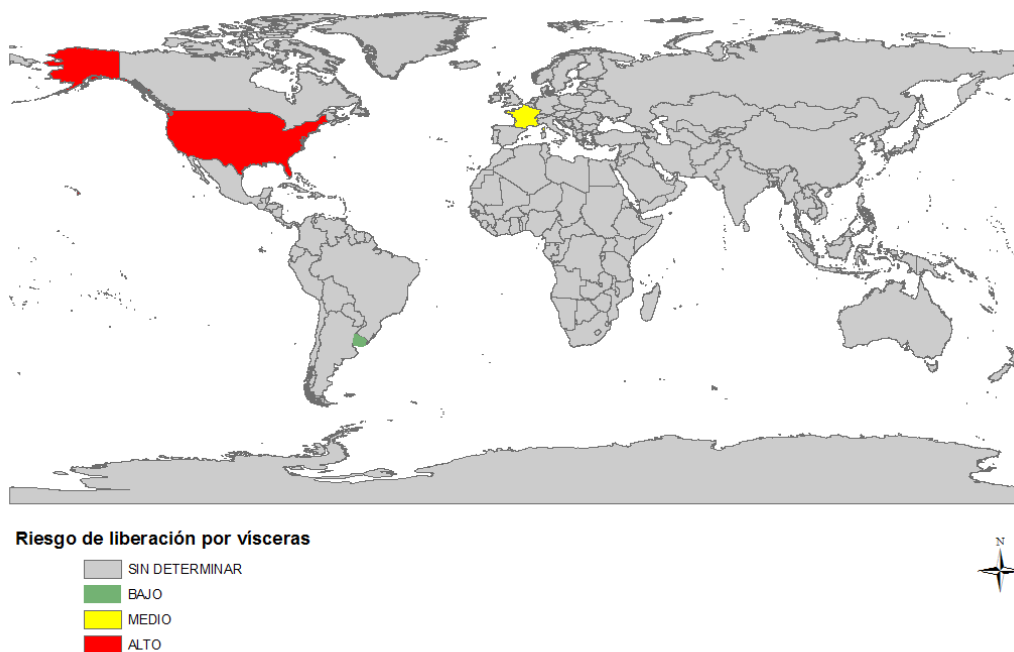


Figura 32. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de vísceras. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

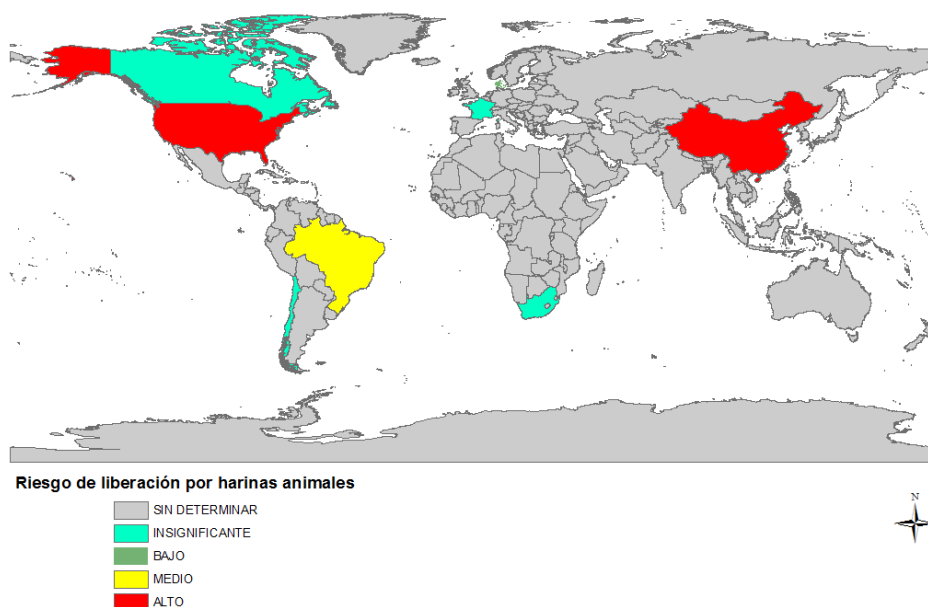


Figura 33. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de harinas animales. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

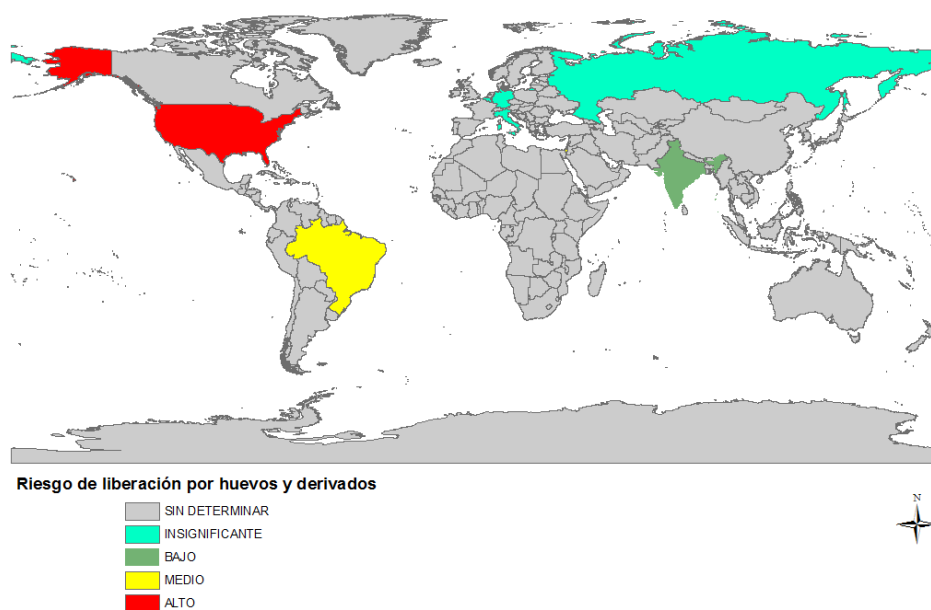


Figura 34. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de huevos y derivados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

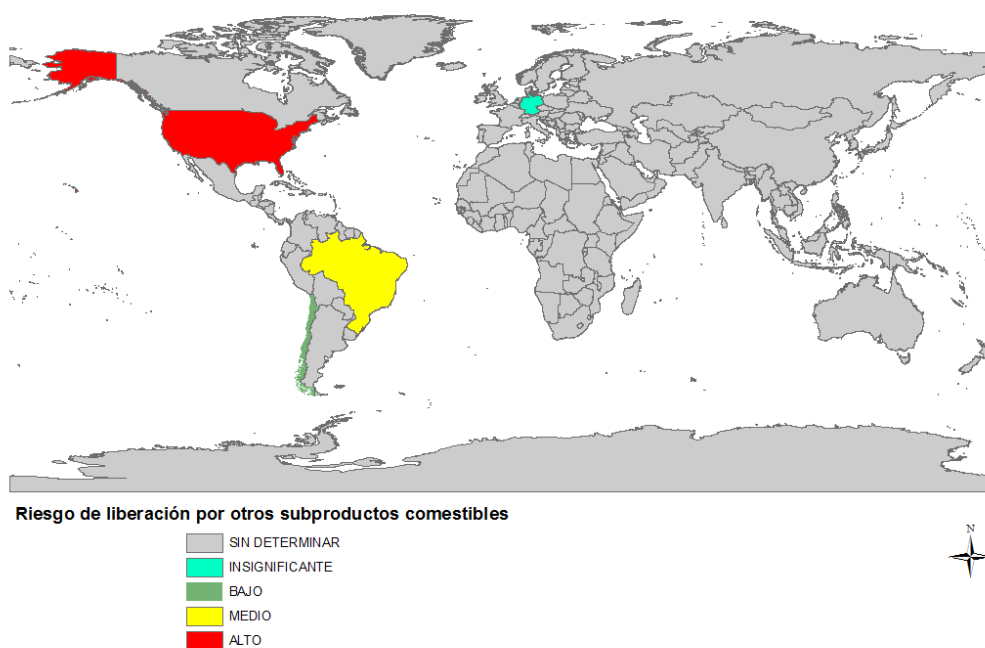


Figura 35. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de otros subproductos comestibles. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

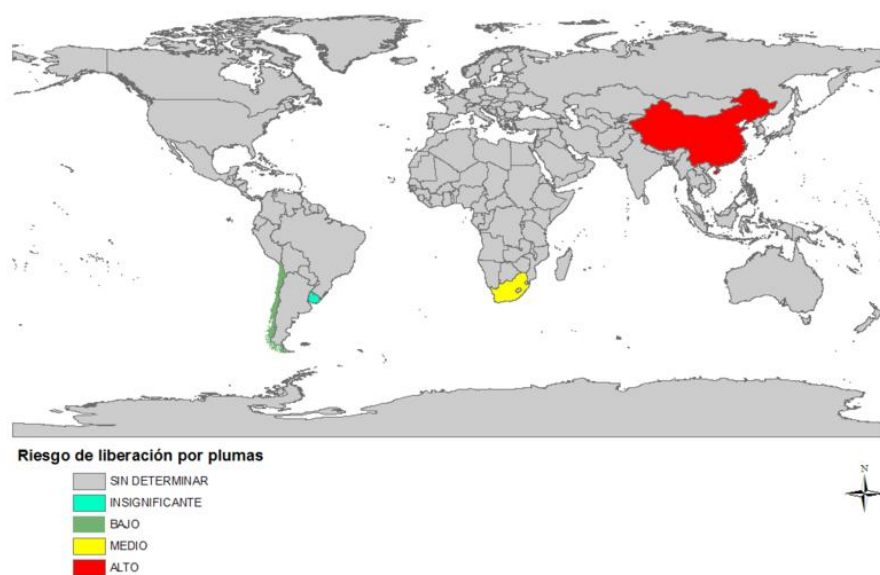


Figura 36. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de plumas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

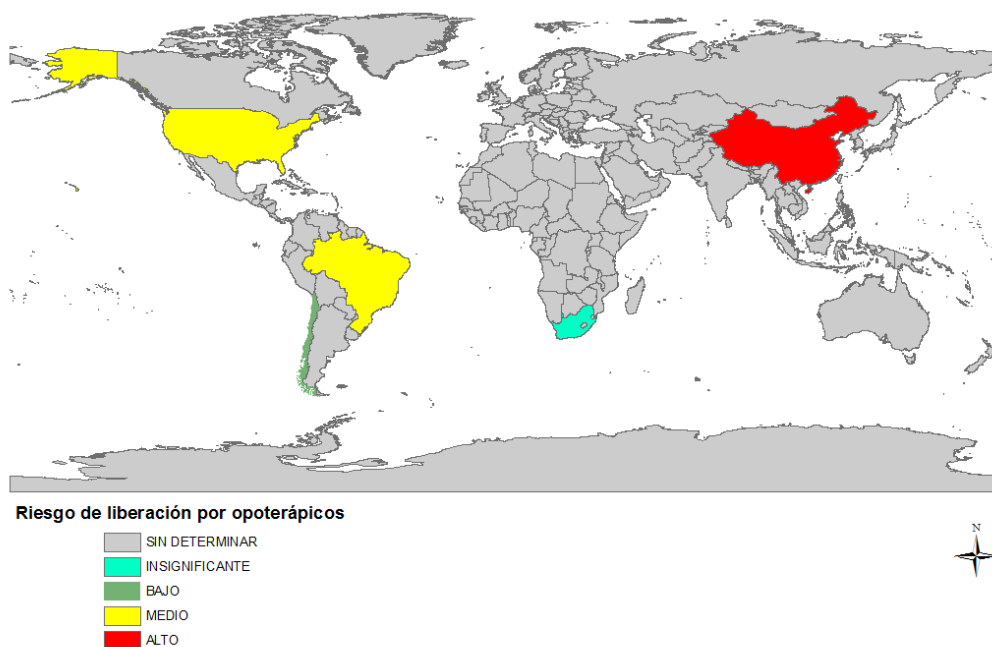


Figura 37. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de opoterápicos. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

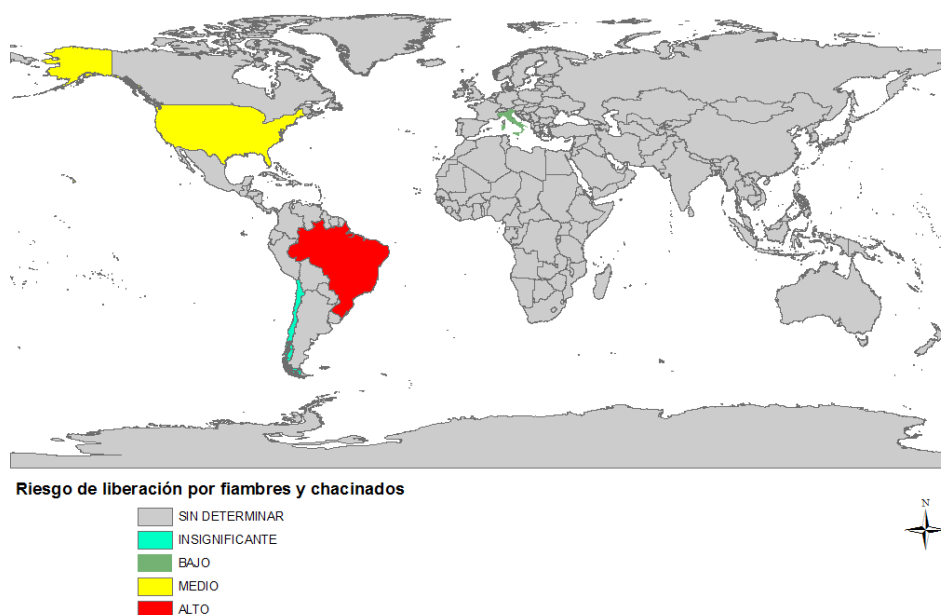


Figura 38. Nivel de riesgo relativo de liberación por importaciones de fiambres y chacinados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo de liberación del VNC en los productos y subproductos fue **“alto”** para huevos y derivados y harinas animales (incertidumbre **“media”**). El riesgo relativo de liberación fue **“medio”** para opoterápicos, plumas y carnes frescas, la incertidumbre asociada a las plumas y opoterápicos fue **“alta”**. Para huevos fértiles, otros subproductos comestibles, carnes procesadas y vísceras el riesgo relativo de liberación fue **“bajo”** (incertidumbre **“media”** para huevos fértiles y otros subproductos comestibles, y **“baja”** para carnes procesadas y vísceras). El riesgo relativo de liberación fue **“insignificante”** para fiambres y chacinados, la incertidumbre asociada a esto fue **“media”** debido a que la incertidumbre asociada a estos productos y a los países que exportan este producto/subproducto fue media.

Los países que representan un riesgo relativo de liberación **“alto”** hacia la Rep. Argentina cuando se realiza una evaluación conjunta de los productos y subproductos fueron Brasil, Estados Unidos y China. La incertidumbre asociada a Brasil y Estados Unidos fue **“baja”** mientras que para China fue **“alta”**.



### V-1.1.2. Evaluación de la liberación de aves vivas importadas

Durante el periodo del 2001 al 2010 la Rep. Argentina importó un total de 324 palomas, 16.899 aves ornamentales, 979 psitácidas, 4.885.621 pollos y 24.160 pavos/patos.

La cantidad de exportaciones de aves vivas a la Rep. Argentina desagregadas se detallan en la figura 39, 40, 41, 42 y 43.

En la figura 44 se representa los países que exportaron aves vivas a la Rep. Argentina durante el período de estudio, del 2001 al 2010.

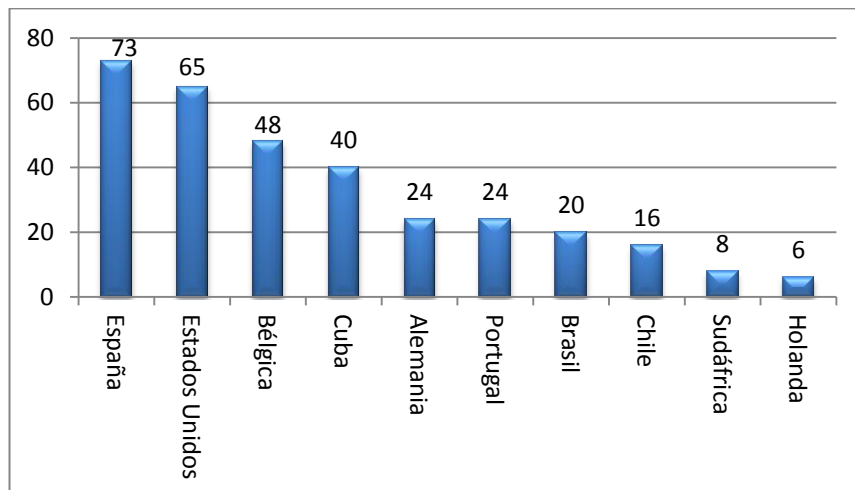


Figura 39. Exportaciones de palomas a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades.

Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.

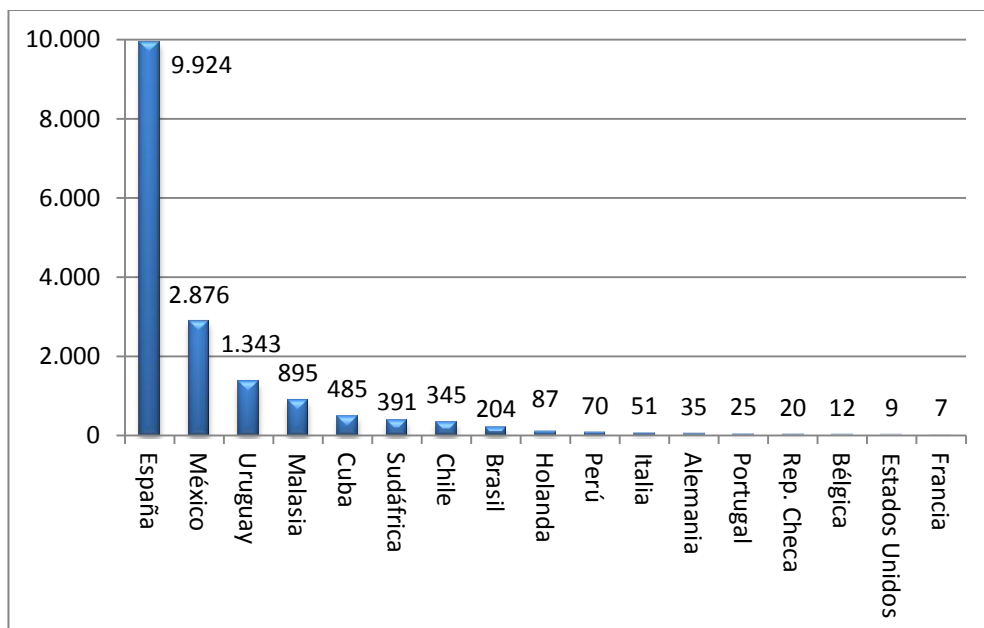


Figura 40. Exportaciones de aves ornamentales a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.

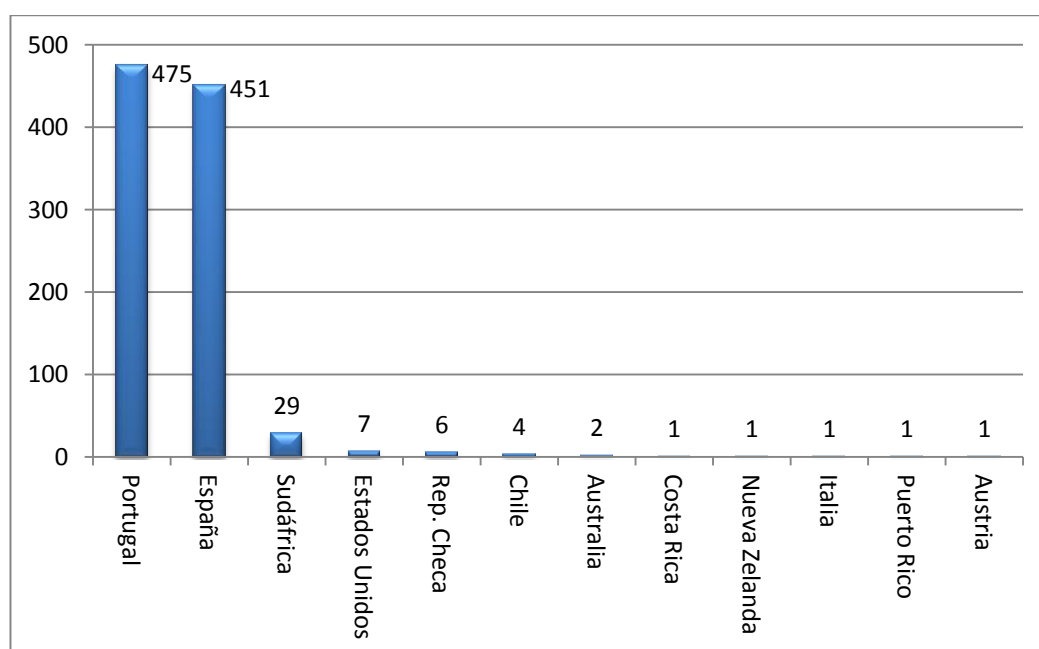


Figura 41. Exportaciones de psitácidas a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.

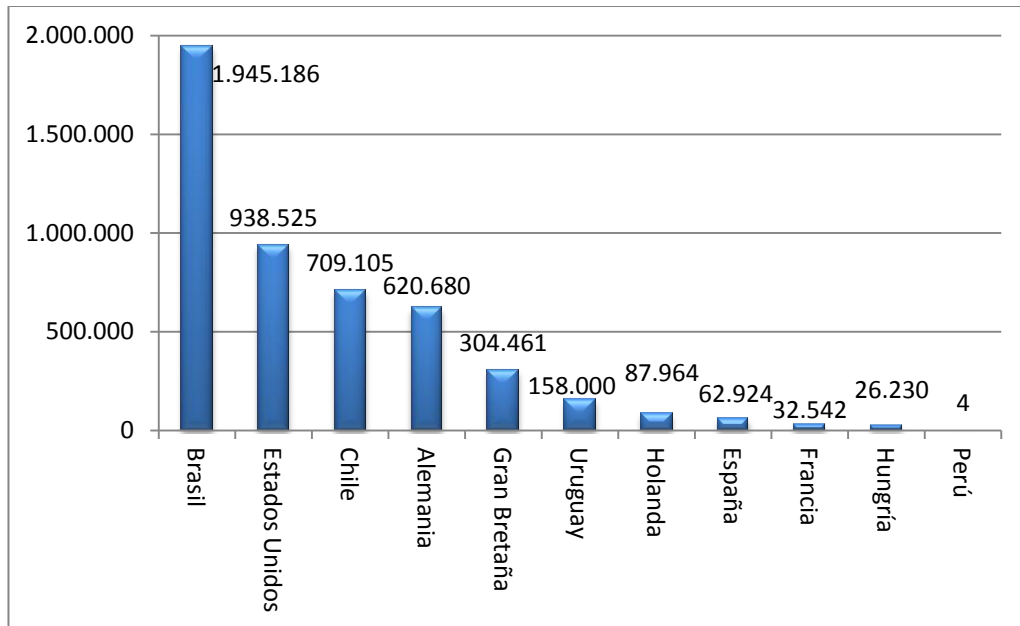


Figura 42. Exportaciones de pollos a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010, en unidades. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.

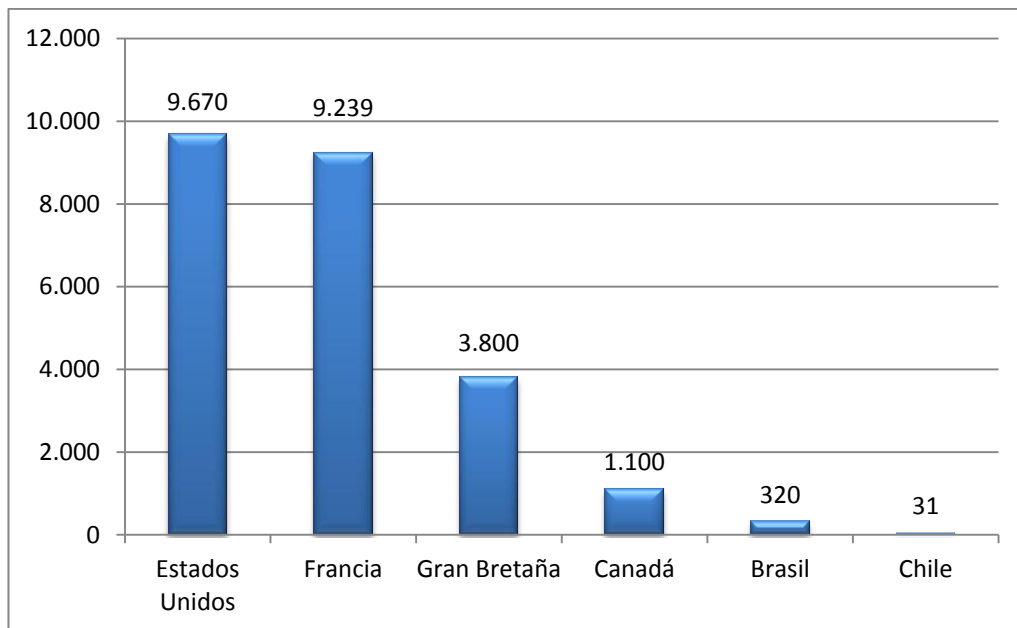


Figura 43. Exportaciones de patos/pavos a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos de Senasa, 2011.

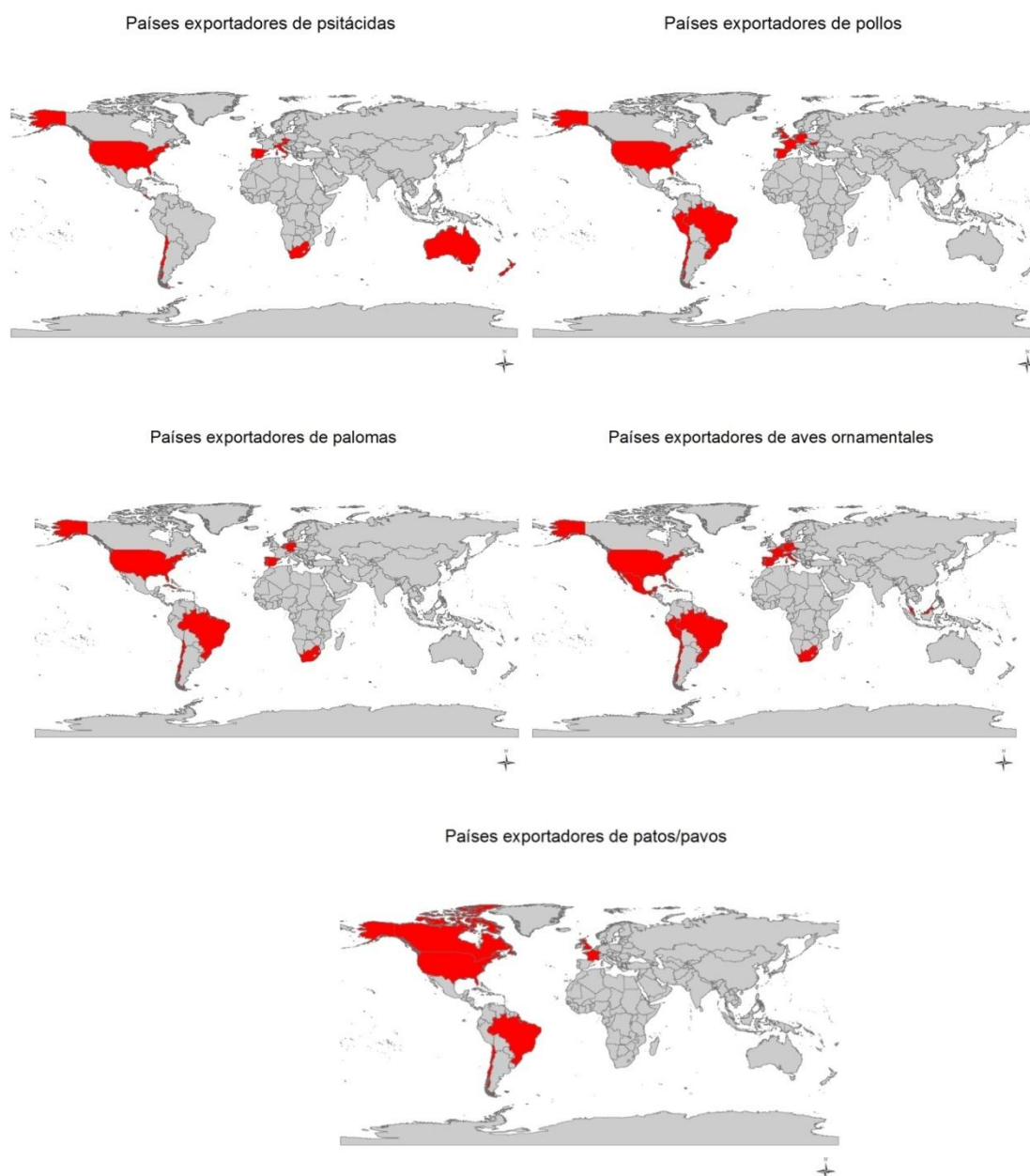


Figura 44. Países exportadores de aves vivas (psitácidas, pollos, palomas, aves ornamentales y pavos/patos) a la Rep. Argentina por país de origen, datos desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de cada país que exportan aves a la Rep. Argentina ( $P_{pm}$ ), fue **“medio”** para Estados Unidos, el último foco registrado en ese país fue en el año 2003 (Figura 45).

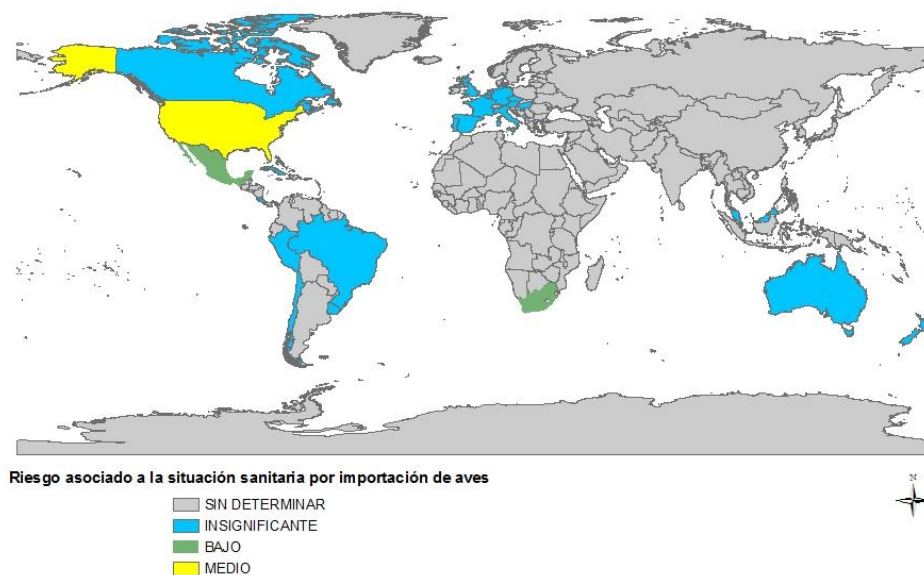


Figura 45. Nivel de riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de aves vivas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo asociado a la cantidad de palomas importadas (**V<sub>m</sub>**) a la Rep. Argentina resultó ser “**alto**” para España y Estados Unidos, mientras que para psitácidas el riesgo relativo fue “**alto**” para España y Portugal; para patos/pavos fue “**alto**” para Francia y Estados Unidos; para aves ornamentales fue “**alto**” para España y en pollos fue “**alto**” para Brasil (Figuras 46,47, 48, 49, 50)

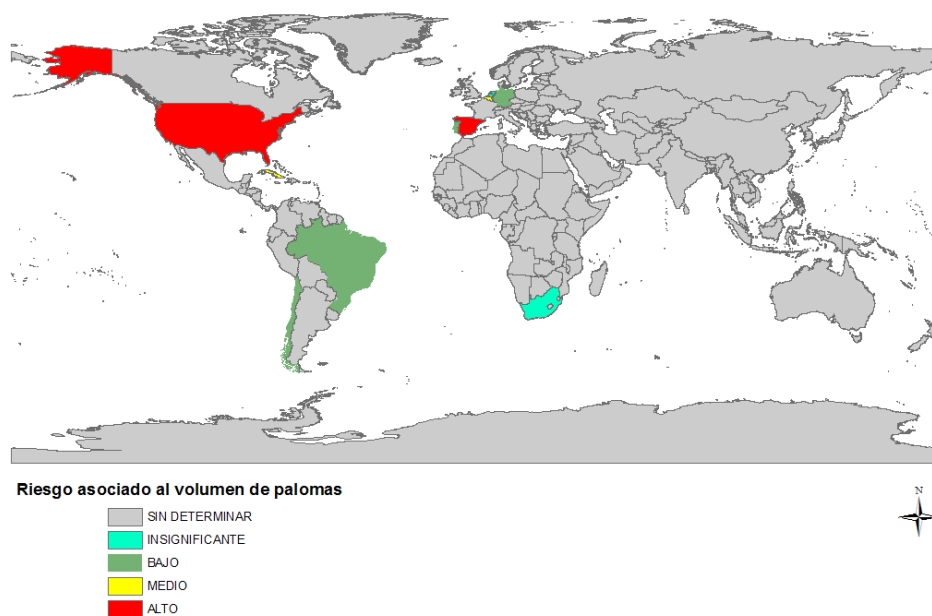


Figura 46. Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de palomas importadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

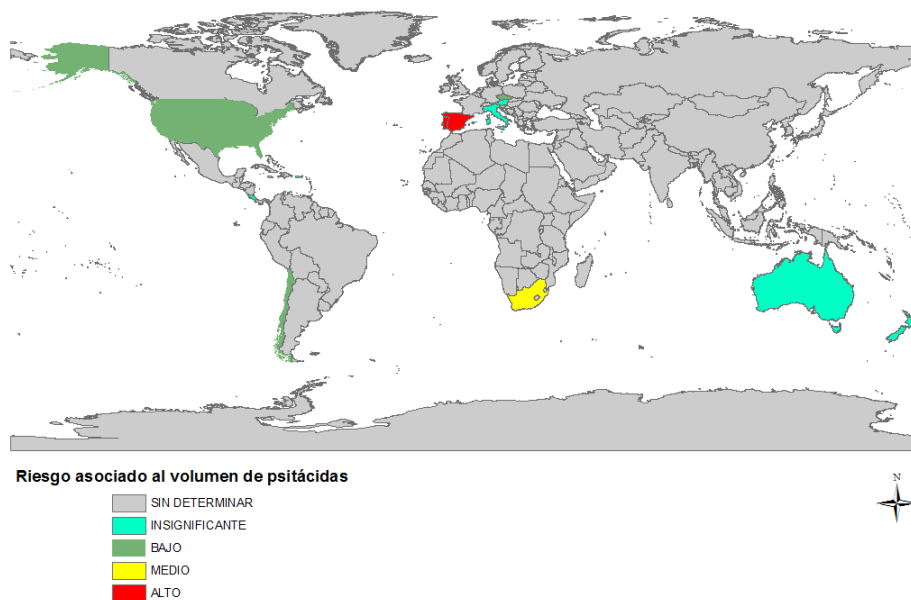


Figura 47. Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de psitácidas importadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

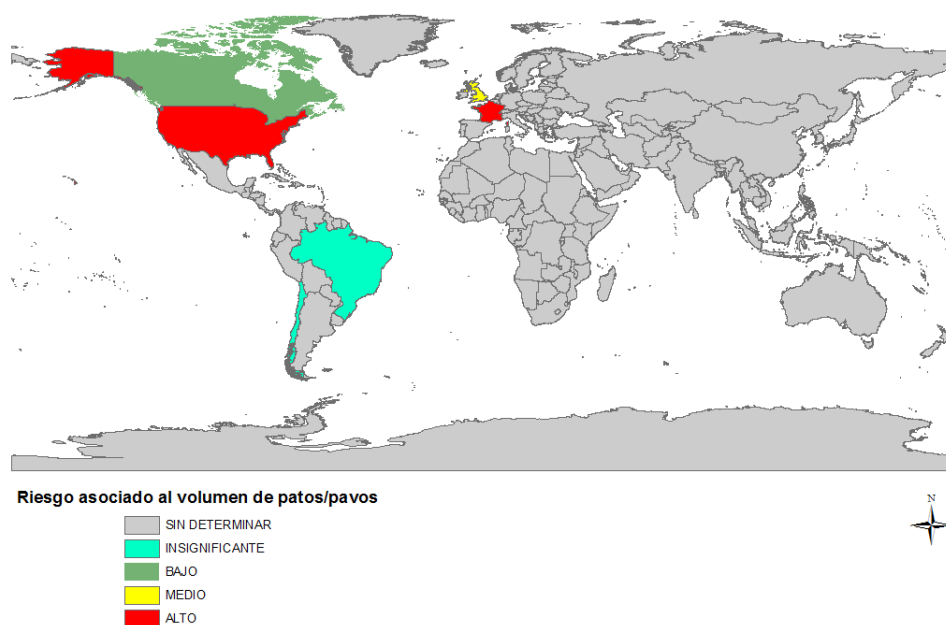


Figura 48. Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de patos/pavos importados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

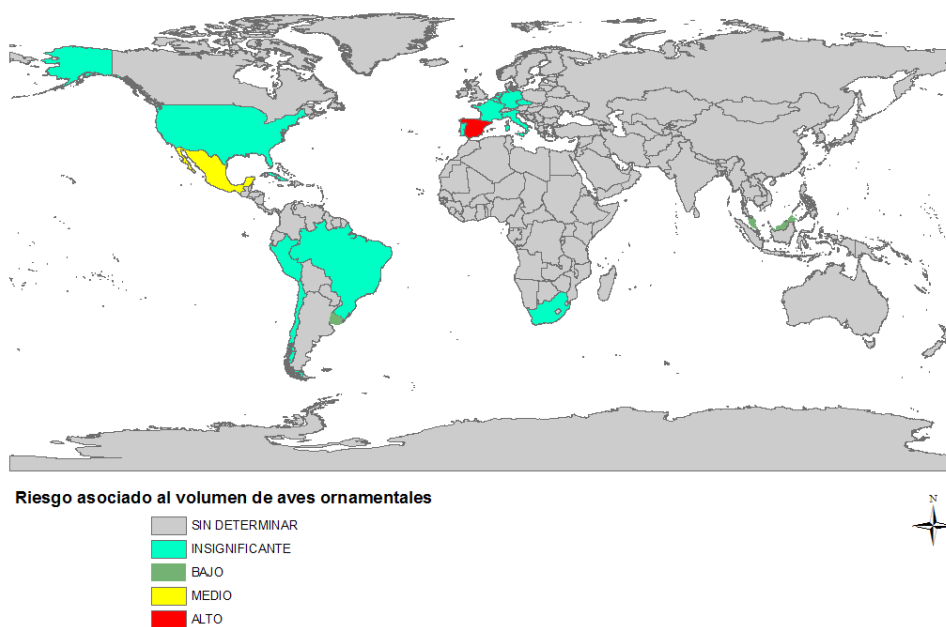


Figura 49. Nivel de riesgo relativo asociado a la cantidad de aves ornamentales importadas. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

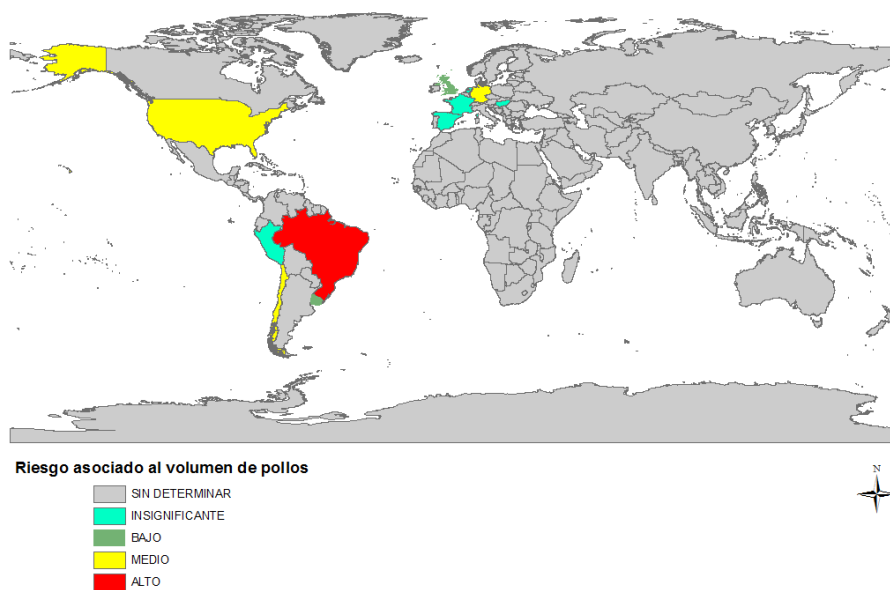


Figura 50. Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de pollos importados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo de liberación (**R<sub>i</sub>**) asociado a palomas fue “**alto**” para Estados Unidos (Figura 51).

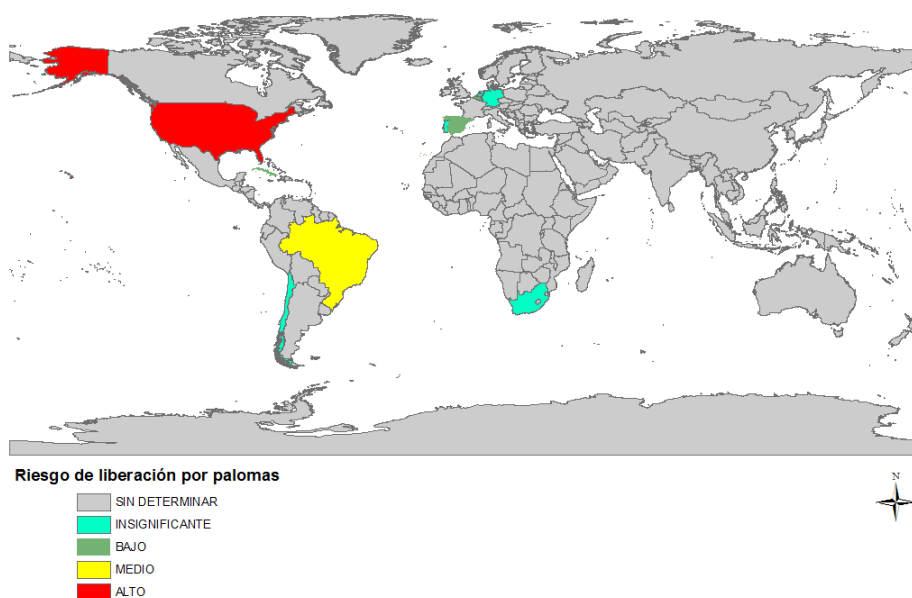


Figura 51. Nivel de riesgo relativo de liberación por palomas a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).





Estados Unidos tuvo un **(Ri) “alto”** para pavos y patos, pollos, psitácidas y aves ornamentales. El **(Ri)** para Brasil fue **“alto”** en pollos y para México en aves ornamentales (Figura 52, 53, 54 y 55).

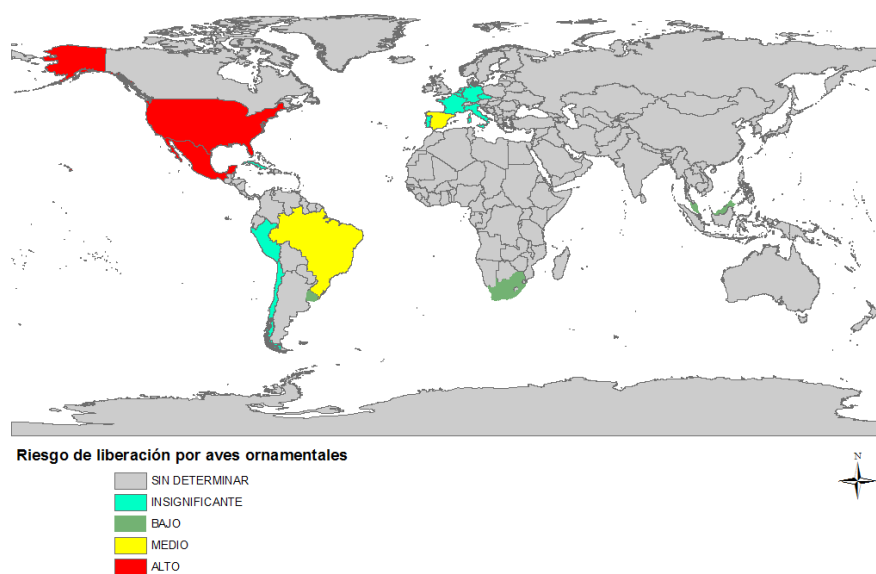


Figura 52. Nivel de riesgo relativo de liberación por aves ornamentales la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

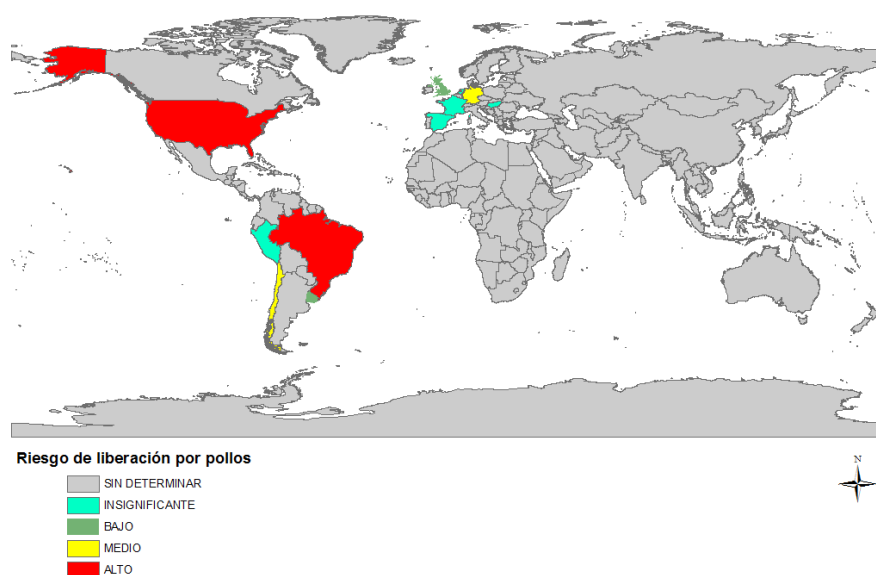


Figura 53. Nivel de riesgo relativo de liberación por pollos a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

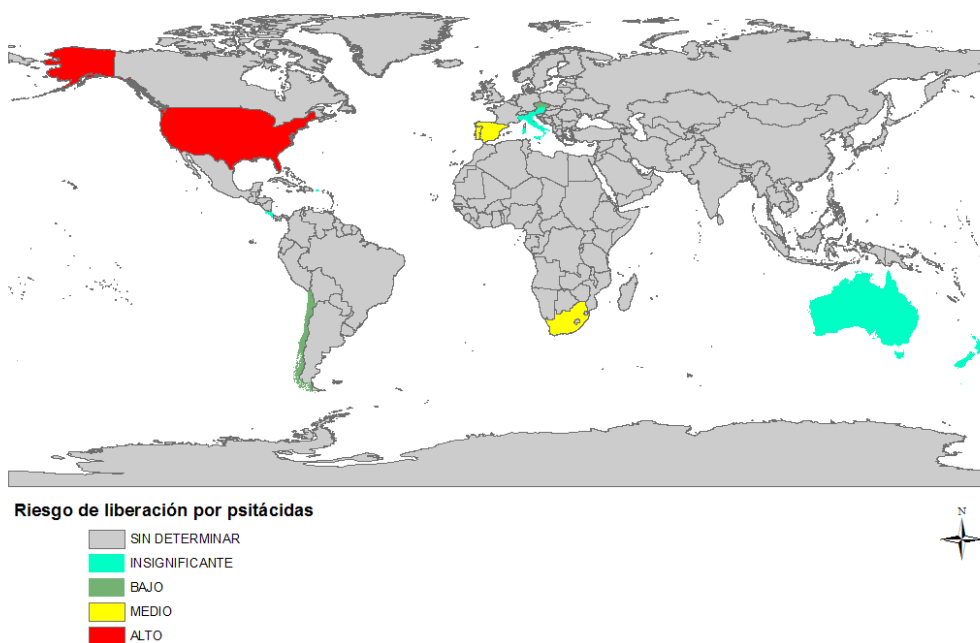


Figura 54. Nivel de riesgo relativo de liberación por psitácidas a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

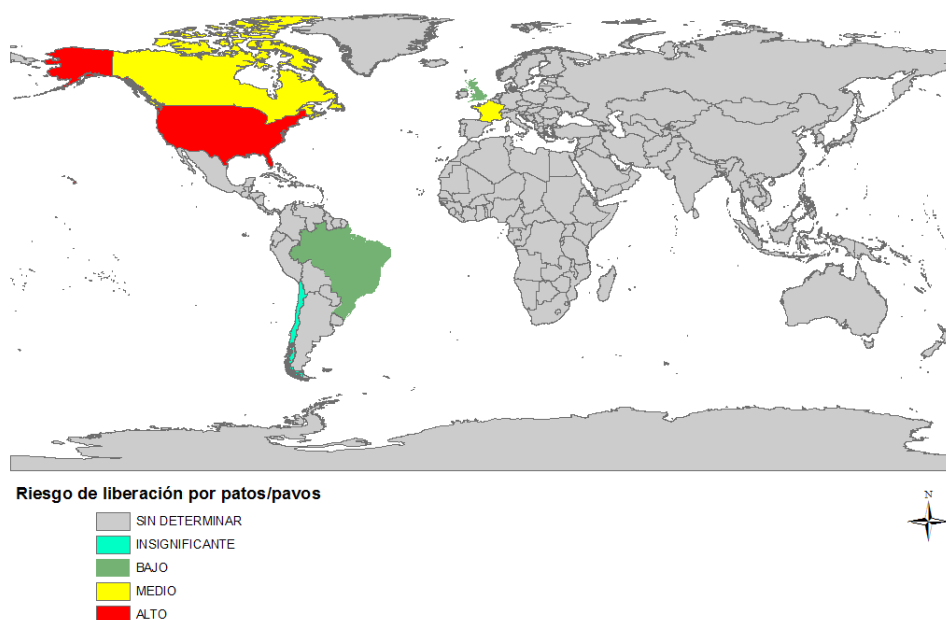


Figura 55. Nivel de riesgo relativo de liberación por patos/pavos a la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo de liberación del VNC por la importación de pollos y palomas fue **“alto”**, **“bajo”** para psitácidas y pavos/patos e **“insignificante”** para aves ornamentales.

El país que representó un mayor riesgo relativo de liberación **(Ri)** hacia la Rep. Argentina cuando se realizó una evaluación conjunta de las aves fue Estados Unidos.

#### V-1.1.3. Evaluación de la liberación de huevos fértiles importados

Durante el periodo en estudio la Rep. Argentina importó 38.283.212 huevos fértiles procedentes de siete países americanos y de solo un país europeo (Figura 56 y 57).

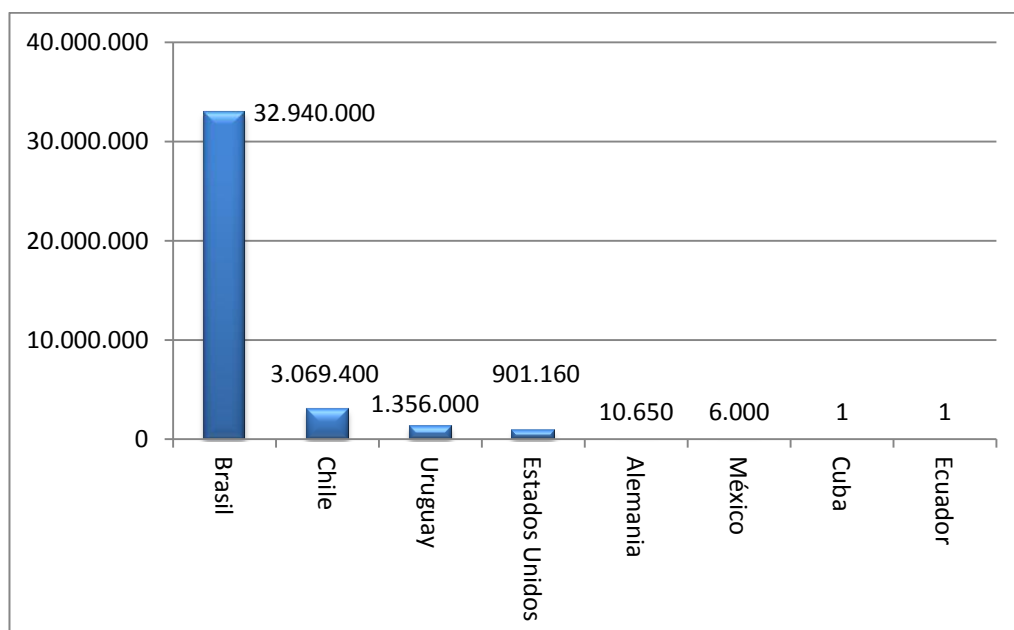


Figura 56: Importaciones de huevos fértiles a la Rep. Argentina, desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos Senasa, 2011.

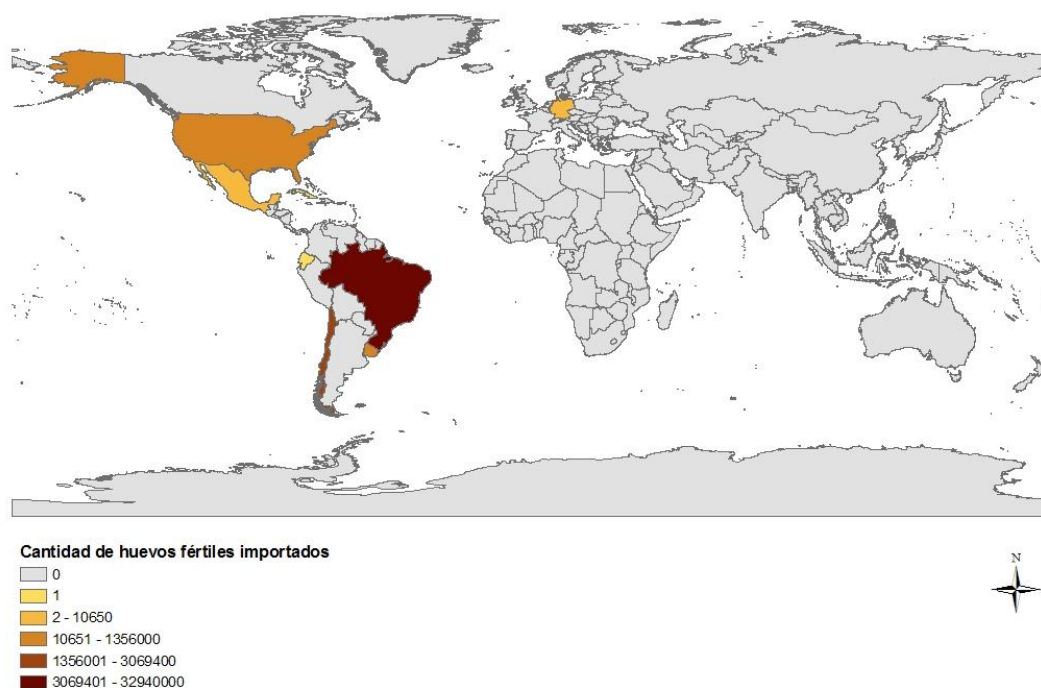


Figura 57. Volumen de huevos fértiles importados en la Rep. Argentina por país de origen desde el 2001 al 2010. Fuente: Elaboración propia con datos Senasa, 2011 mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de cada país que exportó huevos fértiles a la Rep. Argentina (**Ppm**), fue “*medio*” para Estados Unidos, mientras que el mayor riesgo relativo asociado al volumen de huevos fértiles importados (**Vm**) fue “*alto*” para Brasil (Figura 58 y 59).

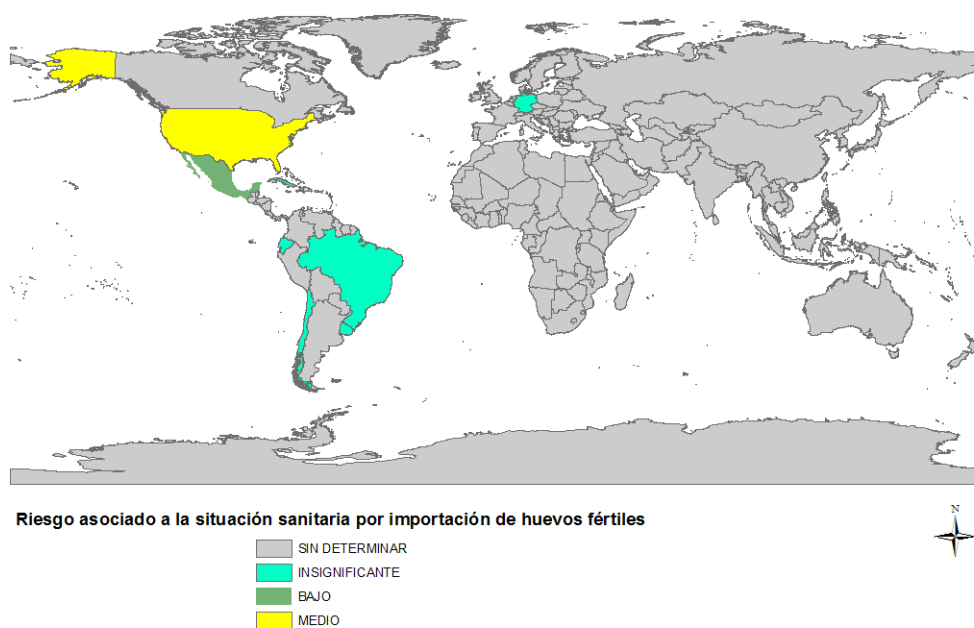


Figura 58. Nivel de riesgo relativo asociado a la situación sanitaria de huevos fértiles. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

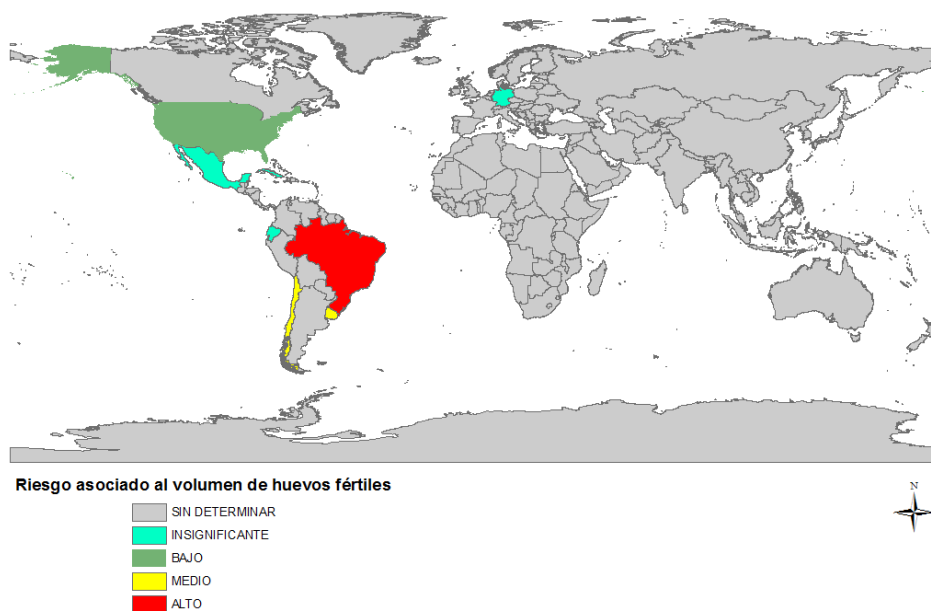


Figura 59. Nivel de riesgo relativo asociado al volumen de huevos fértiles importados. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).



Los países que tuvieron un riesgo relativo de liberación del VNC **“alto”** por huevos fértiles hacia la Rep. Argentina fueron Brasil y Estados Unidos mientras que Chile y Uruguay tuvo un riesgo relativo **“medio”** (Figura 60). La incertidumbre asociada a Chile y Uruguay fue **“insignificante”** mientras que para Brasil y Estados Unidos la incertidumbre fue **“baja”**.

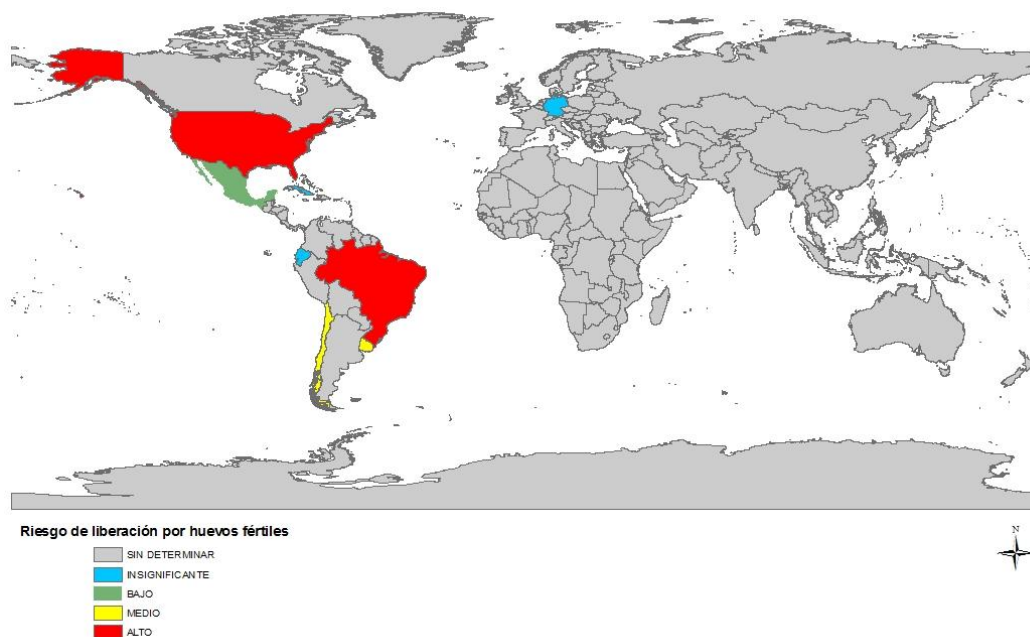


Figura 60. Nivel de riesgo relativo de liberación por huevos fértiles la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El país que presentó un riesgo relativo de liberación (**Ri**) **“alto”** hacia la Rep. Argentina cuando se analizó todo el material de riesgo importado en su conjunto (productos y subproductos avícolas, huevos fértiles y aves vivas) fue Estados Unidos, un riesgo relativo **“medio”** se obtuvo para Brasil y China, con un nivel de incertidumbre asociado a Brasil **“bajo”** mientras que para China la incertidumbre asociada fue **“alta”**.

#### V-1.2. Evaluación del riesgo de exposición

Los resultados obtenidos para la evaluación de la exposición se describen a continuación en forma detallada para cada uno de los materiales de riesgo analizados.



#### V-1.2.1. Evaluación del riesgo de exposición de productos/subproductos avícolas importados

El riesgo relativo de exposición asociado a fiambres y chacinados; harinas animales, otros subproductos comestibles; huevos y derivados; plumas y opoterápicos fue **“insignificante”**. Mientras que el riesgo relativo de exposición asociado a carnes procesadas, carnes frescas y vísceras fue **“bajo”**.

La incertidumbre asociada a la exposición de opoterápicos y plumas fue **“alta”**.

#### V-1.2.2. Evaluación del riesgo de exposición de aves vivas importadas

El riesgo relativo de exposición asociado a pollos fue considerado **“alto”**, **“medio”** para palomas, patos/pavos y psitácidas; y **“bajo”** para aves ornamentales.

La incertidumbre asociada a la exposición de aves ornamentales fue **“alta”**.

#### V-1.2.3. Evaluación del riesgo de exposición de huevos fértiles importados

El riesgo relativo de exposición asociado a huevos fértiles fue considerado **“bajo”** con una incertidumbre asociada **“media”**.

### **V-1.3. Evaluación del riesgo total**

Las vías de ingreso analizadas que suponen un mayor riesgo relativo total (**R<sub>t</sub>**) en el ingreso del VNC hacia la Rep. Argentina fueron las palomas y los pollos con un riesgo relativo total **“alto”**, con un riesgo relativo **“medio”** las psitácidas y los pavos/patos; con un riesgo relativo **“bajo”** los huevos fértiles, los huevos y derivados, harinas animales, carnes procesadas, carnes frescas y vísceras. Mientras que valores **“insignificantes”** de riesgo relativo fueron obtenidos para las aves ornamentales, opoterápicos, plumas, fiambres y chacinados y otros subproductos comestibles.

Como resumen final de los resultados obtenidos en el análisis de riesgo de introducción del VNC en la Rep. Argentina se obtiene la siguiente tabla:



Tabla 34. Resumen del riesgo de liberación, riesgo de exposición, riesgo total e incertidumbre.

Fuente: Elaboración propia.

| Vía de entrada                | Riesgo de liberación (Ri) | Riesgo de exposición (Re) | Riesgo total (Rt) | Incertidumbre |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|
| Carnes frescas                | Medio                     | Bajo                      | Bajo              | Baja          |
| Carnes procesadas             | Bajo                      | Bajo                      | Bajo              | Baja          |
| Vísceras                      | Bajo                      | Bajo                      | Bajo              | Baja          |
| Huevos y derivados            | Alto                      | Insignificante            | Bajo              | Media         |
| Harinas animales              | Alto                      | Insignificante            | Bajo              | Media         |
| Fiambres y chacinados         | Insignificante            | Insignificante            | Insignificante    | Media         |
| Plumas                        | Medio                     | Insignificante            | Insignificante    | Alta          |
| Otros subproductos comestible | Bajo                      | Insignificante            | Insignificante    | Media         |
| Opoterápicos                  | Medio                     | Insignificante            | Insignificante    | Alta          |
| Pollos                        | Alto                      | Alto                      | Alto              | Baja          |
| Palomas                       | Alto                      | Medio                     | Alto              | Baja          |
| Psitácidas                    | Bajo                      | Medio                     | Medio             | Baja          |
| Pavos/patos                   | Bajo                      | Medio                     | Medio             | Media         |
| Aves ornamentales             | Insignificante            | Bajo                      | Insignificante    | Alta          |
| Huevos fértiles               | Bajo                      | Bajo                      | Bajo              | Media         |



## V-2. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PATRONES DE CONTACTOS DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA

---

### V-2.1. Descripción de las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina

Las provincias con mayor número de granjas son Buenos Aires y Entre Ríos representando estas dos más del 80% de las granjas totales en el país.

La distribución espacial de las granjas comerciales en la Rep. Argentina están representadas en la Figura 61.

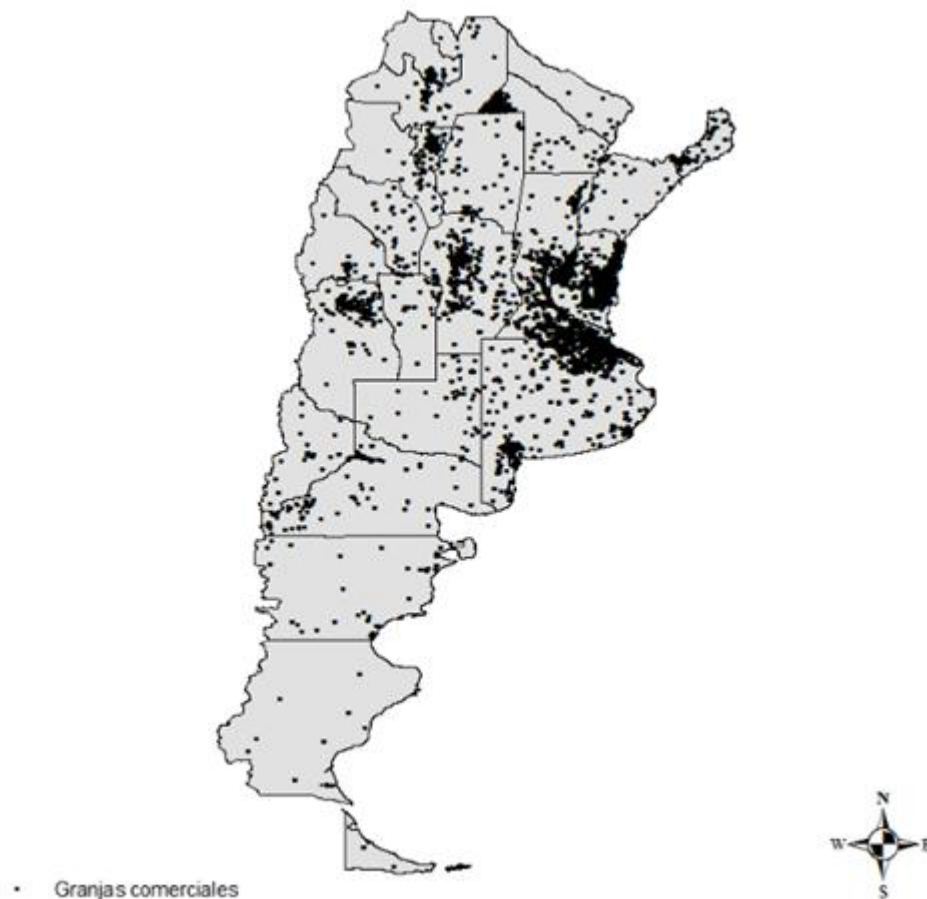


Figura 61. Distribución espacial de las granjas comerciales de aves en la Rep. Argentina. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2011) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

## **V-2.2. Descripción espacio-temporal y análisis de los patrones de movimientos de aves vivas en la Rep. Argentina durante el año 2009 y 2010**

### V-2.2.1. Descripción de las medidas del tamaño de la red y las medidas de centralidad

Para el año 2009, la red compuesta por los movimientos de aves vivas entre granjas fue de 6.330 *nodos* (granjas) con un total de 50.374 *contactos* (movimientos de aves entre granjas) (Tabla 35).

El 73,3% de las granjas enviaron repetidas veces aves a otras granjas con las que ya habían contactado previamente (múltiples conexiones entre granjas) y el 84% de las granjas recibieron aves de más de una granja.

El total de aves movilizadas en el 2009 fue de 856.135.294. El número medio de aves enviadas por movimiento fue de 16.996 con una mediana de 11.000 aves por movimiento.

En las figuras 62 y 63 se representan el total de los movimientos (movimientos de entrada y salida) de aves vivas entre granjas para la Rep. Argentina durante el año 2009 y 2010. Puede observarse visualmente que existe una mayor concentración de los movimientos en la provincia de Buenos Aires y Entre Ríos.

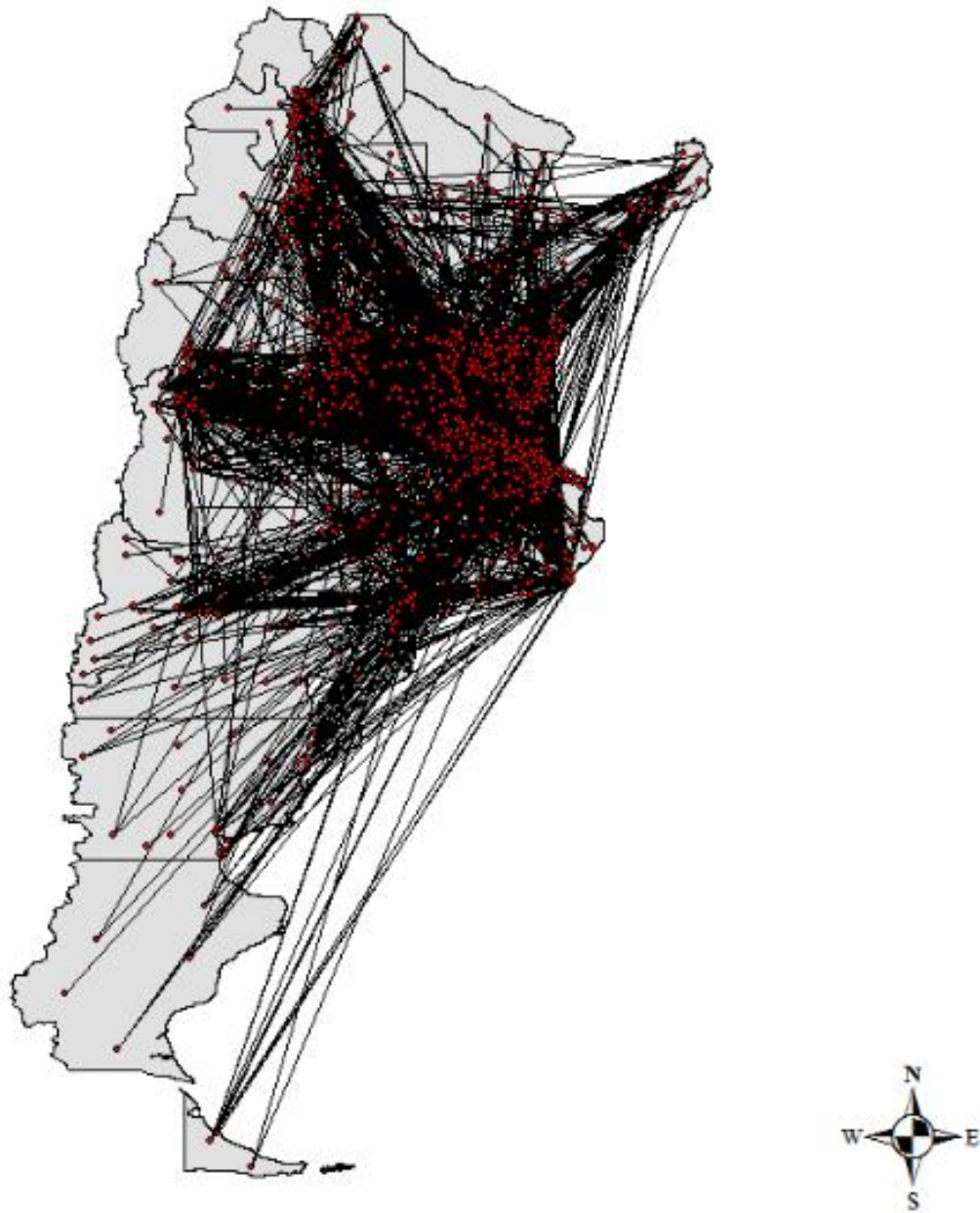


Figura 62. Red de movimientos en la Rep. Argentina de aves entre granjas durante el año 2009.  
Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el programa informático Arc View 3.2.

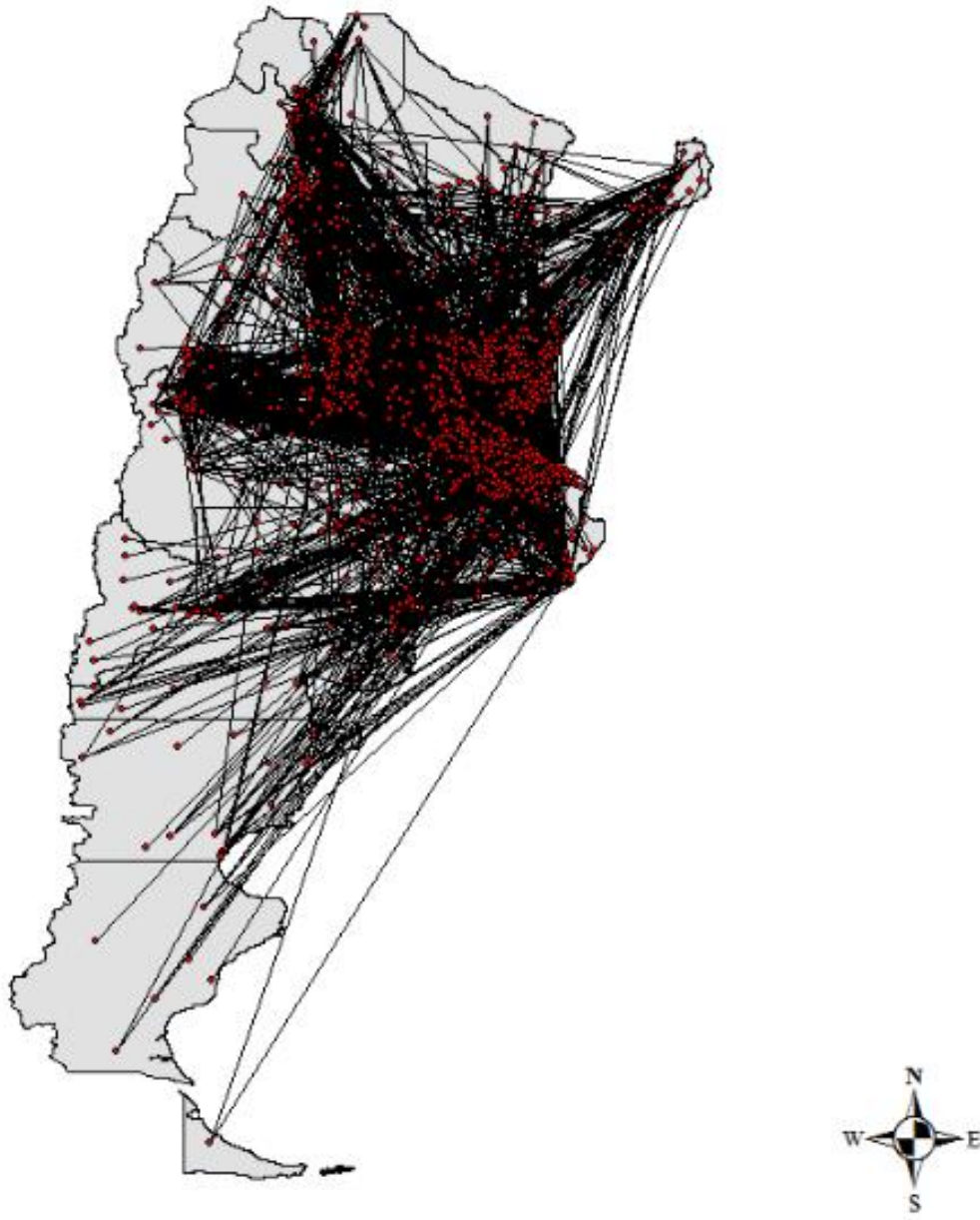


Figura 63. Red de movimientos en la Rep. Argentina de aves entre granjas durante el año 2010.  
Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el programa informático Arc View 3.2.

Para el 2010, la red de movimientos de aves vivas entre granjas estaba compuesta por 6.458 *nodos* (granjas) con un total de 50.566 *contactos* (movimientos entre granjas) (Tabla 35).

El 69% de las granjas enviaron repetidas veces aves a otras granjas con las que ya habían contactado previamente (múltiples conexiones entre granjas) y el 84% de las granjas recibieron aves de más de una granja.

El total de aves vivas movilizadas durante el 2010 fue de 795.255.405. El número medio y la mediana de aves enviadas por cada movimiento fue de 15.727 y 11.000 respectivamente.

Tabla 35. Cantidad de nodos por provincia del año 2009 y el 2010. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los movimientos de aves comerciales entre granjas, Senasa 2009-2010.

| Provincia           | Cantidad de nodos |             |
|---------------------|-------------------|-------------|
|                     | 2009              | 2010        |
| ENTRE RIOS          | 2612              | 2601        |
| BUENOS AIRES        | 2146              | 2074        |
| CORDOBA             | 455               | 548         |
| SANTA FE            | 298               | 378         |
| MENDOZA             | 130               | 143         |
| SALTA               | 90                | 77          |
| TUCUMAN             | 71                | 104         |
| SANTIAGO DEL ESTERO | 57                | 55          |
| RIO NEGRO           | 54                | 58          |
| MISIONES            | 48                | 51          |
| CHUBUT              | 47                | 38          |
| SAN LUIS            | 46                | 42          |
| NEUQUEN             | 44                | 39          |
| CORRIENTES          | 43                | 45          |
| LA PAMPA            | 31                | 37          |
| JUJUY               | 30                | 29          |
| SAN JUAN            | 30                | 41          |
| CHACO               | 28                | 33          |
| SANTA CRUZ          | 17                | 12          |
| FORMOSA             | 16                | 18          |
| CATAMARCA           | 15                | 16          |
| LA RIOJA            | 15                | 17          |
| TIERRA DEL FUEGO    | 7                 | 2           |
| <b>TOTALES</b>      | <b>6330</b>       | <b>6458</b> |

La descripción de las medidas del análisis de redes descriptas en este estudio se resume en la tabla 36.



Tabla 36. Análisis de la red de contactos de la Rep. Argentina, año 2009 y 2010. Descripción de las medidas del tamaño de la red y las medidas de centralidad. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos mediante el lenguaje R (R.2.10.1).

| Parámetro                              | Año          |              |
|--|--------------|--------------|
|  | 2009         | 2010         |
| <b>Tamaño de la Red</b>                |              |              |
| Número de nodos                        | 6330         | 6458         |
| Número de contactos                    | 50374        | 50566        |
| <b>Medidas de centralidad</b>          |              |              |
| Media in-degree                        | 7.949605     | 7.82332      |
| Media out-degree                       | 7.949605     | 7.82332      |
| Mediana in-degree                      | 5            | 5            |
| Mediana out-degree                     | 0            | 0            |
| Valor máximo in-degree                 | 804          | 862          |
| Valor máximo out-degree                | 2841         | 2747         |
| Valor mínimo in-degree                 | 0            | 0            |
| Valor mínimo out-degree                | 0            | 0            |
| Media normalizada in-degree            | 0.00125606   | 0.001231161  |
| Media normalizada out-degree           | 0.00125606   | 0.001231161  |
| Mediana normalizada in-degree          | 0.0007900142 | 0.0007743534 |
| Mediana normalizada out-degree         | 0            | 0            |
| Valor máximo normalizado in-degree     | 0.1270343    | 0.124516     |
| Valor máximo normalizado out-degree    | 0.4488861    | 0.4399876    |
| Valor mínimo normalizado in-degree     | 0            | 0            |
| Valor mínimo normalizado out-degree    | 0            | 0            |
| Media in-closeness                     | 0.0001581823 | 0.000154995  |
| Media out-closeness                    | 0.0001582115 | 0.0001550103 |
| Mediana in-closeness                   | 0.0001549187 | 0.0001549187 |
| Mediana out-closeness                  | 0.0001548467 | 0.0001548467 |
| Valor máximo in-closeness              | 0.0001607456 | 0.0001580768 |
| Valor máximo out-closeness             | 0.0002765626 | 0.0002414508 |
| Valor mínimo in-closeness              | 0.0001579779 | 0.0001548467 |
| Valor mínimo out-closeness             | 0.0001579779 | 0.0001548467 |
| Media normalizada in-closeness         | 1.001136     | 1.000803     |
| Media normalizada out-closeness        | 1.001321     | 1.000902     |
| Mediana normalizada in-closeness       | 0.9804802    | 1.00031      |
| Mediana normalizada out-closeness      | 0.9800248    | 0.9998452    |
| Valor máximo normalizado in-closeness  | 1.017359     | 1.020702     |
| Valor máximo normalizado out-closeness | 1.750365     | 1.559048     |
| Valor mínimo normalizado in-closeness  | 0.999842     | 0.9998452    |
| Valor mínimo normalizado out-closeness | 0.999842     | 0.9998452    |

En general se observa que los movimientos salientes están más concentrados que los movimientos entrantes, hay pocos nodos (granjas) que realizan movimientos de salida y muchos que reciben movimientos.

Como se observa en la figura 64 y 65 existen muchas granjas tanto para el 2009 como el 2010 que no realizan ningún movimiento de envío de aves pero que reciben movimientos de otras granjas. También hay granjas que solo envían o solo reciben movimientos de otras granjas.

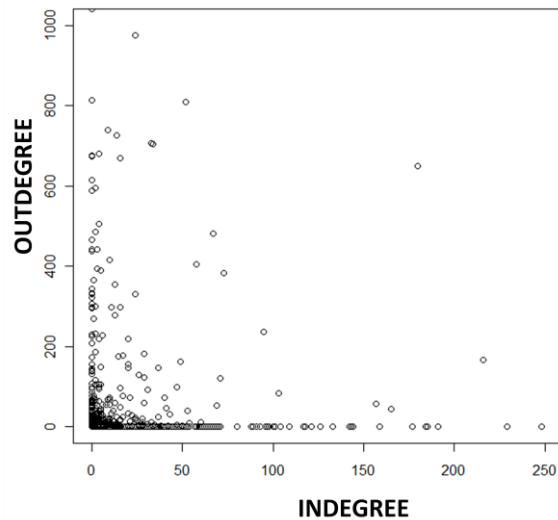


Figura 64. Diagrama de dispersión del out-degree e in-degree de las granjas, año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).

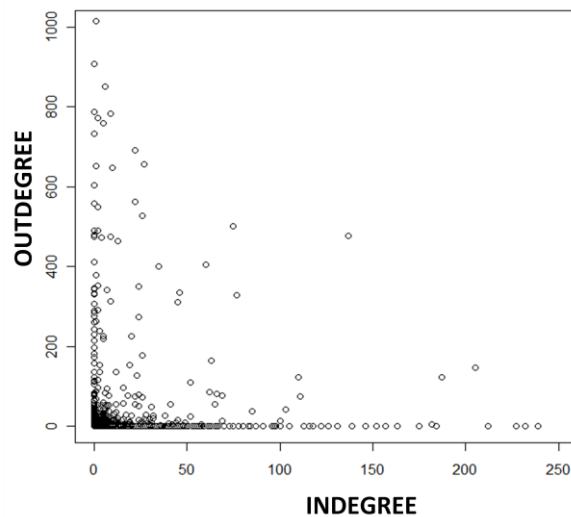


Figura 65. Diagrama de dispersión del out-degree e in-degree de las granjas, año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).

En la figura 66 y 67 se describen las frecuencias de movimientos de entrada (in-degree) y salida (out-degree) con los registros completos del año 2009 y 2010. Se observa que para

ambos años hay un alto porcentaje (84%) de granjas que no realizan movimientos de salida y un bajo porcentaje (9%) de granjas que no realizan movimientos de entrada. La mayoría de las granjas (90%) tuvieron entre 1 a 100 entradas.

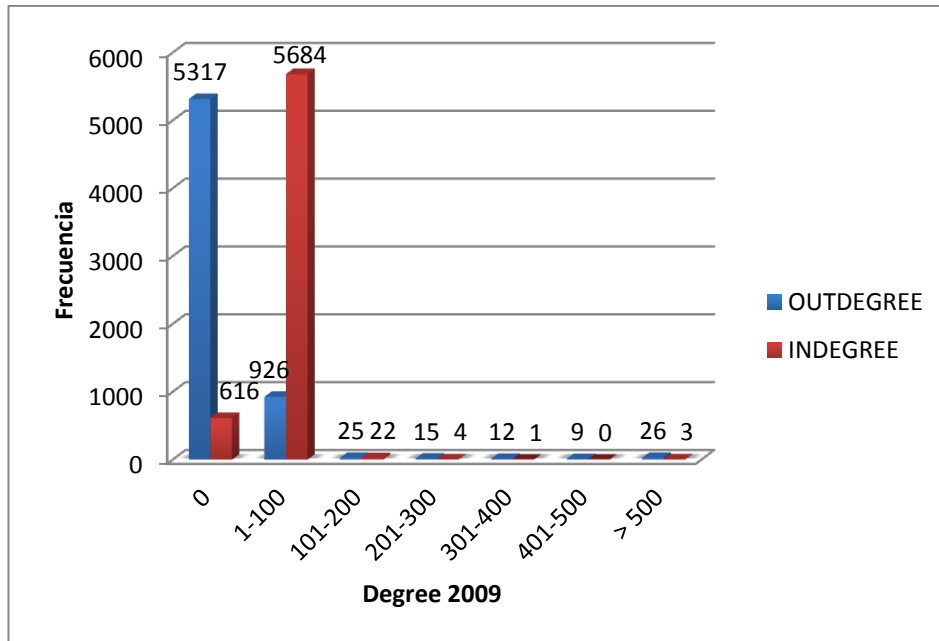


Figura 66: Frecuencia de los movimientos de entrada y salida (degree) durante el año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2009.

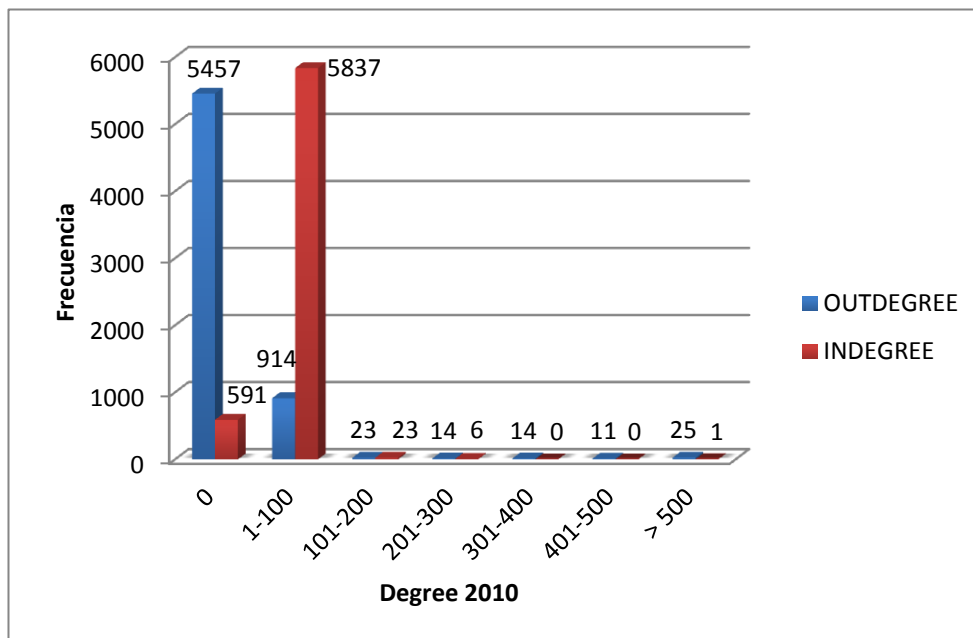


Figura 67. Frecuencia de los movimientos de entrada y salida (degree) durante el año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2010.



### V-2.2.2. Análisis temporal de los movimientos

En relación al análisis temporal de la red de movimientos se observa que los meses de mayor concentración de los movimientos para el 2009 se registraron en julio (4.544 movimientos), septiembre (4.515 movimientos), octubre (4.568 movimientos) y para el 2010 octubre (4.534 movimientos), septiembre (4.616 movimientos) y noviembre (4.608 movimientos). Los meses con menor cantidad de números de movimientos fueron enero (3.883 movimientos) y febrero (3.615 movimientos) para el 2009; febrero (3.905 movimientos) y abril (3.890 movimientos) para el 2010 (Figura 68).

La cantidad media de aves movilizadas en cada movimiento por mes se representa en el figura 69.

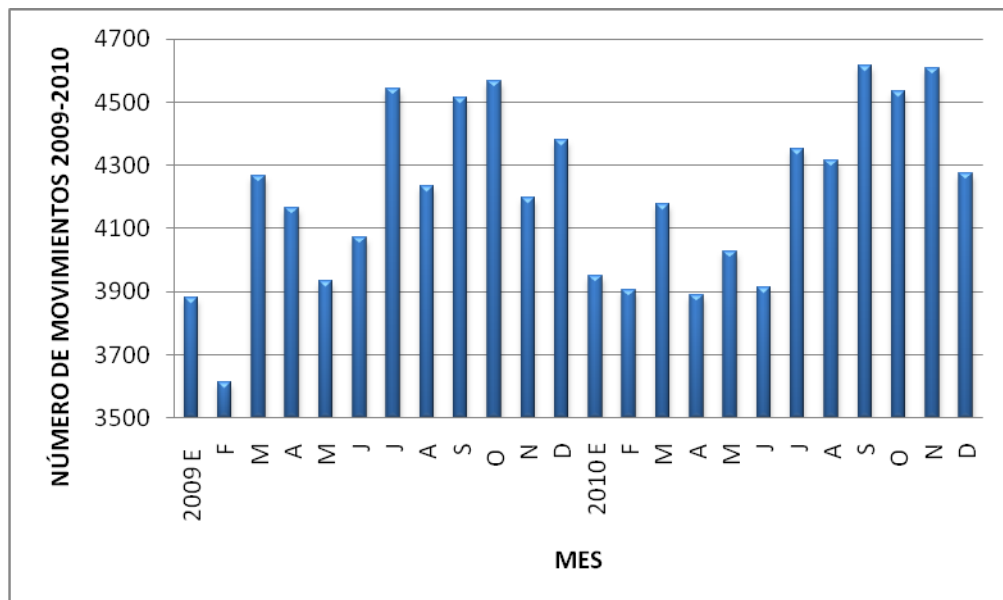


Figura 68. Cantidad de movimientos (entradas y salidas) de aves vivas entre granjas por mes, año 2009-2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2009-2010

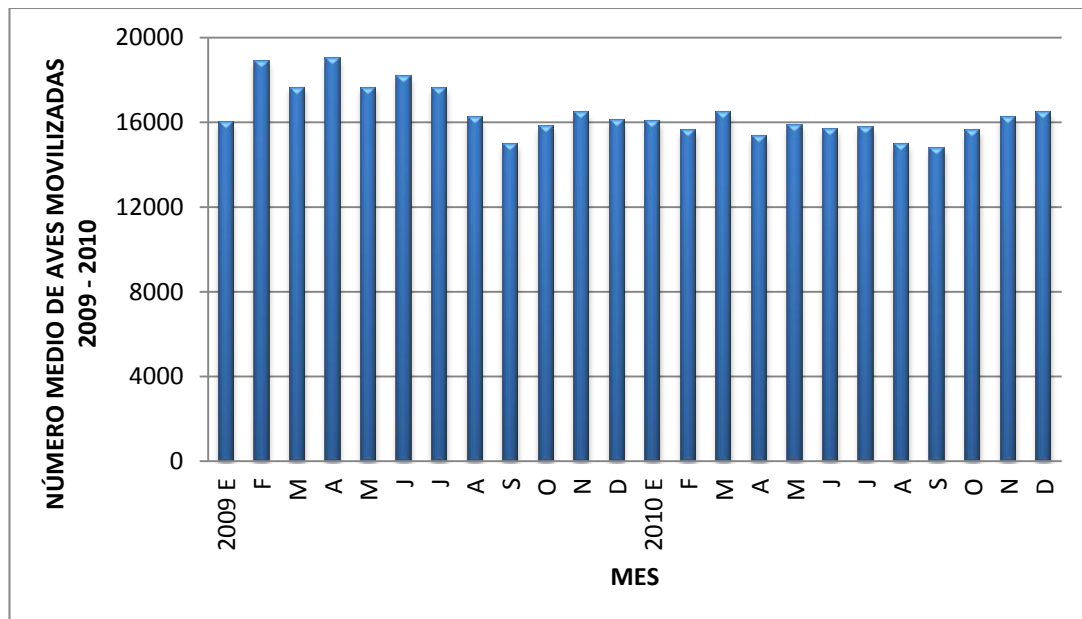


Figura 69. Cantidad media de aves movilizadas por movimiento, por mes, año 2009-2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa 2009-2010.

Analizando la cantidad de aves movilizadas (entrada y salida) por mes durante los dos años también se observa que no hay una variación significativa a lo largo del año (Figuras 70 y 71).

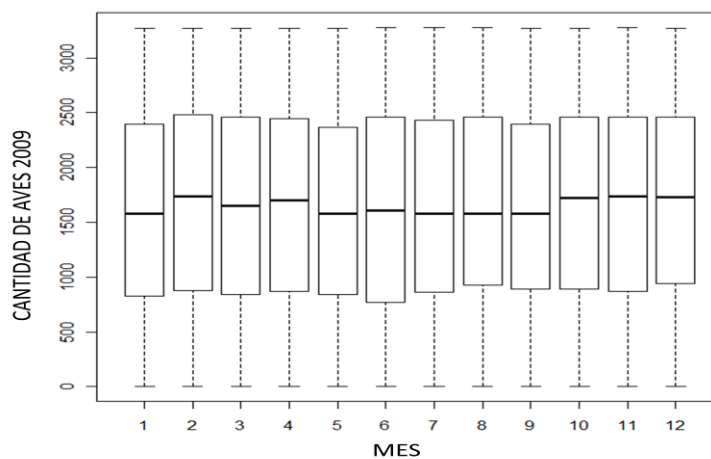


Figura 70. Cantidad de aves vivas movilizadas entre granjas por mes, año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).

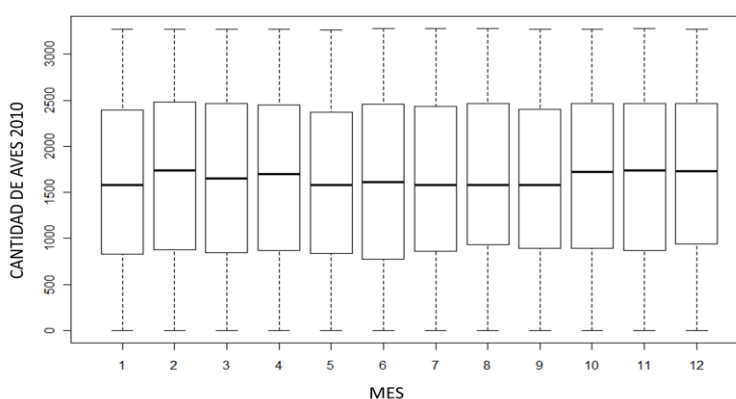


Figura 71. Cantidad de aves vivas movilizadas entre granjas por mes, año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).

### V-2.2.3. Análisis comparativo de los movimientos de las granjas en el 2009 y 2010

Un 56% de las granjas que realizan movimientos de envíos durante el 2009 son las mismas que lo realizan en el 2010 y un 41% de las granjas que reciben movimientos en el 2009 son las mismas que en el año 2010 (Tabla 40 y 41).

En la tabla 37 se detallan los porcentajes de las granjas que realizan movimientos de envíos (mismo origen) durante el mismo mes en el 2009 y en el año 2010, y en la tabla 38 están representados los porcentajes de granjas que reciben movimientos (mismo destino) durante el mismo mes en el 2009 y en 2010.



Tabla 37. Porcentaje de granjas que realizan movimientos de envíos (mismo origen) durante los mismos meses del 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia.

| Mes        | Porcentaje % |
|------------|--------------|
| Enero      | 54           |
| Febrero    | 54           |
| Marzo      | 59           |
| Abril      | 56           |
| Mayo       | 58           |
| Junio      | 59           |
| Julio      | 59           |
| Agosto     | 61           |
| Septiembre | 55           |
| Octubre    | 50           |
| Noviembre  | 54           |
| Diciembre  | 48           |

Tabla 38. Porcentaje de granjas que reciben movimientos (mismo destino) en el mismo mes del 2009 y del 2010. Fuente: Elaboración propia.

| Mes        | Porcentaje % |
|------------|--------------|
| Enero      | 40           |
| Febrero    | 39           |
| Marzo      | 41           |
| Abril      | 39           |
| Mayo       | 40           |
| Junio      | 39           |
| Julio      | 43           |
| Agosto     | 42           |
| Septiembre | 43           |
| Octubre    | 43           |
| Noviembre  | 44           |
| Diciembre  | 43           |

El porcentaje de similitud que existe analizando los mismos movimientos, misma granja de origen y destino, del año 2009 con respecto al 2010 es de 40%. Del análisis comparativo por mes (misma granja de origen, mismo destino y mismo mes) entre el año 2009 y 2010 se observa que hay una similitud de los movimientos que es alrededor al 30% para todos los meses (Tabla 39).



Tabla 39. Porcentaje de granjas que realizan los mismos movimientos (mismo origen, mismo destino y mismo mes) durante el 2009 con respecto al 2010. Fuente: Elaboración propia.

| Mes        | Porcentaje % |
|------------|--------------|
| Enero      | 29           |
| Febrero    | 28           |
| Marzo      | 29           |
| Abril      | 28           |
| Mayo       | 29           |
| Junio      | 29           |
| Julio      | 31           |
| Agosto     | 32           |
| Septiembre | 30           |
| Octubre    | 30           |
| Noviembre  | 30           |
| Diciembre  | 31           |

Del análisis por tipo de producción de las granjas, se observó que un 87% de granjas de incubación y un 71% de granjas dedicadas a la producción de carne y huevos realizan movimientos de envío en el 2009 y también en el 2010 (Tabla 40), esto nos indicaría que estos dos tipos de producciones mantienen los flujos comerciales estables a lo largo de los años estudiados en este estudio.

Del 56% total de las granjas, que realizan movimientos de envíos durante el 2009 y 2010, un 29% corresponden a plantas de incubación y un 26% a granjas de producción de carne.

Tabla 40. Porcentaje de granjas por tipo de producción que realizan movimientos de envío tanto en el 2009 como en el 2010. Fuente: Elaboración propia.

| Tipo de producción<br>(movimiento de envío) | Porcentaje % |
|---|--------------|
| Plantas de incubación                       | 87           |
| Producción de carne y huevos                | 71           |
| Producción de carne                         | 56           |
| Aves traspatio                              | 55           |
| S/D   | 47           |
| Reproductores                               | 45           |
| Otras producciones                          | 44           |
| Producción de huevos                        | 36           |
| <b>TOTALES</b>                              | <b>56</b>    |

S/D: Sin determinar

Del análisis por tipo de producción de las granjas que realizan movimientos de recepción, se observó que un 75% de las granjas dedicadas a la producción de carne y huevos lo hacen en ambos años (Tabla 41).

Del 41% total las granjas que reciben movimientos en el 2009 y 2010, el 74% corresponden a granjas de producción de carne.

Tabla 41. Porcentaje de granjas por tipo de producción que reciben movimientos durante el 2009 y en el 2010. Fuente: Elaboración propia.

| Tipo de producción<br>(movimiento de recepción) | Porcentaje % |
|---|--------------|
| Producción de carne y huevos                    | 75           |
| Aves traspatio                                  | 59           |
| Otras producciones                              | 53           |
| Plantas de incubación                           | 50           |
| Producción de carne                             | 42           |
| S/D   | 41           |
| Producción de huevos                            | 35           |
| <b>TOTALES</b>                                  | <b>41</b>    |

S/D: Sin determinar

#### V-2.2.4. Análisis espacial de los movimientos

Durante el 2009 el 50% y 75% del total de los movimientos de aves recorrieron distancias de 107 y 331 km, respectivamente, mientras que para el 2010 fue de 104 y 292 km.

En el 2009 la distancia media (rango) de los movimientos realizados entre granjas de aves fue de 210 km (<1-2.844 Km), y en el 2010 fue de 198 km (<1-2.577 Km).

En la figura 72 se observa la distancia recorrida y la cantidad de movimientos durante el año 2009 y 2010.

Es importante remarcar que las distancias que se presentan en este estudio son distancias euclídeas, no son las distancias recorridas exactas, por lo que este dato solo sirve como estimación aproximada de las distancias recorridas para cada movimiento. No se dispone información acerca del tipo de transporte utilizado en cada uno de los movimientos.

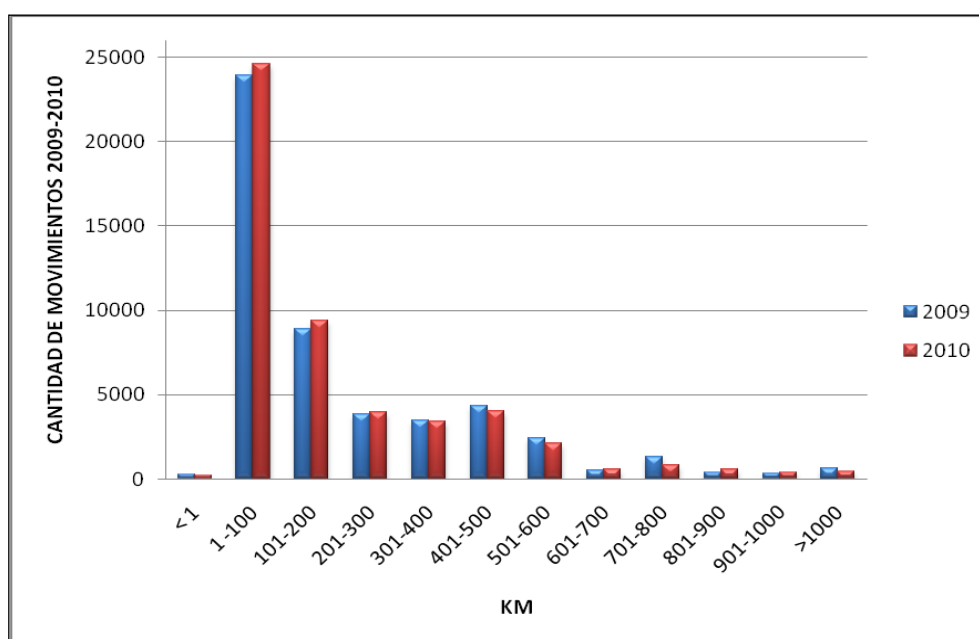


Figura 72. Distribución de los movimientos (Km) de aves vivas entre granjas en Argentina durante el 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010).

Para el año 2009 la recepción del 7,6% de los movimientos se concentró en diez nodos. El nodo con mayor recepción de los movimientos (in-degree,  $D_i$ ) se localizó en la provincia de Entre Ríos ( $D_i$  804) y los demás en Rio Negro ( $D_i$  556), dos en Córdoba ( $D_i$  786 y 191), Salta ( $D_i$  298), Chubut ( $D_i$  229), tres en Buenos Aires ( $D_i$  339, 248, 185) y uno más en

Entre Ríos (*Di* 216) (Figura 73). Los diez nodos con mayor número de movimientos enviados (out-degree, *Do*) concentraron el 31% de los movimientos salientes. El nodo con mayor número de movimientos enviados se localizó en Entre Ríos (*Do* 2841) y los demás, cinco en Buenos Aires (*Do* 2323, 1411, 1169, 1135, 1041) y cuatro más en Entre Ríos (*Do* 1516, 1448, 1417, 1331) (Figura 74).

El nodo con mayor cantidad de recepción y envío de movimientos correspondió a una granja de incubación y a una granja de producción de carne respectivamente.

Para el año 2010 la recepción del 5,6% de los movimientos de aves se concentro en diez nodos. El nodo con mayor recepción de los movimientos (in-degree) se localizó en la provincia de Córdoba (*Di* 862) y los demás en Salta (*Di* 239), Rio Negro (*Di* 187), tres en Entre Ríos (*Di* 299, 205, 184) y cuatro más en Córdoba (*Di* 232, 227, 212, 182) (Figura 73). Los diez nodos con mayor número de movimientos enviados (out-degree) concentraron el 31,4% de los movimientos salientes. El nodo con mayor número de movimientos enviados se localizó en Entre Ríos (*Do* 2747) y los demás en cuatro vértices en Buenos Aires (*Do* 2294, 1623, 1415, 908) y cinco más en Entre Ríos (*Do* 1570, 1560, 1412, 1351, 1014) (Figura 74).

En el 2009 las provincias con el mayor número de movimientos de salidas (out-degree) fueron Entre Ríos (36%) y Buenos Aires (34%), estas dos provincias representaron el 70% del total de los movimientos durante el 2009. La mayoría de los movimientos de entradas (in-degree) ocurrieron en Buenos Aires (40%) y Entre Ríos (32%), representando el 72% del total de los movimientos durante el 2009 (Figura 75).

Durante el 2010 Buenos Aires (38%) y Entre Ríos (32%) fueron las provincias con el número más alto de movimientos de salida (out-degree), estas dos provincias representaron el 70% del total de los movimientos de salida. La mayoría de los movimientos de entrada (in-degree) ocurrieron en Entre Ríos (35%) y Buenos Aires (33%) representando el 68% del total de los movimientos de entrada registrados en el país (Figura 76).



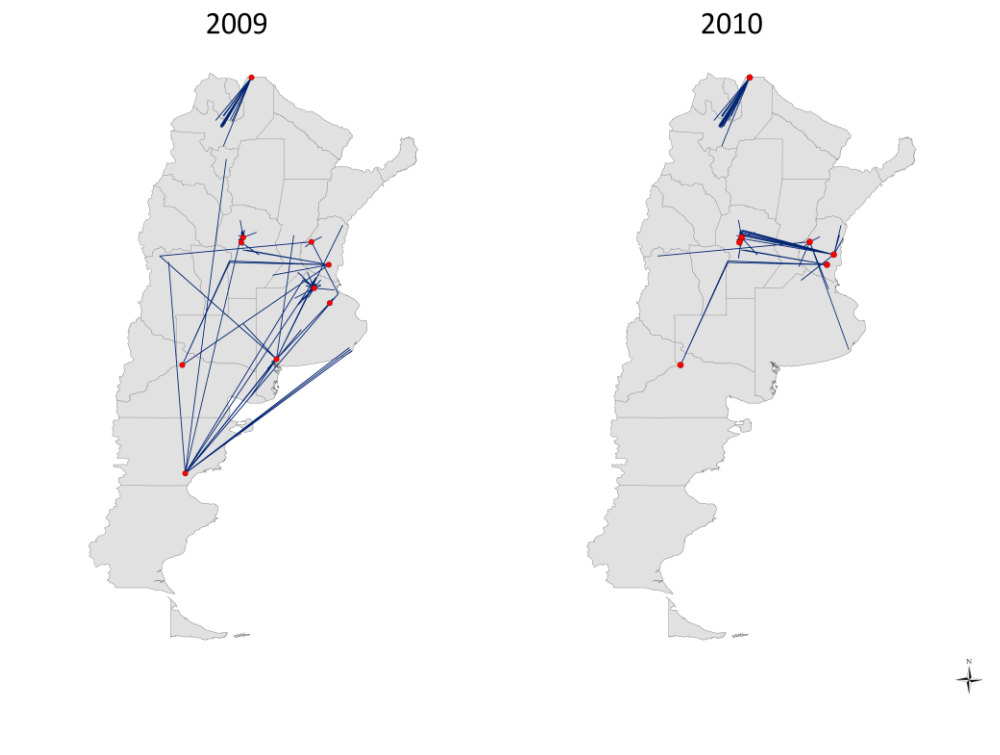


Figura 73. Subred de movimientos en la Rep. Argentina de los diez nodos con mayores in-degree durante el año 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático Arc View 3.2.

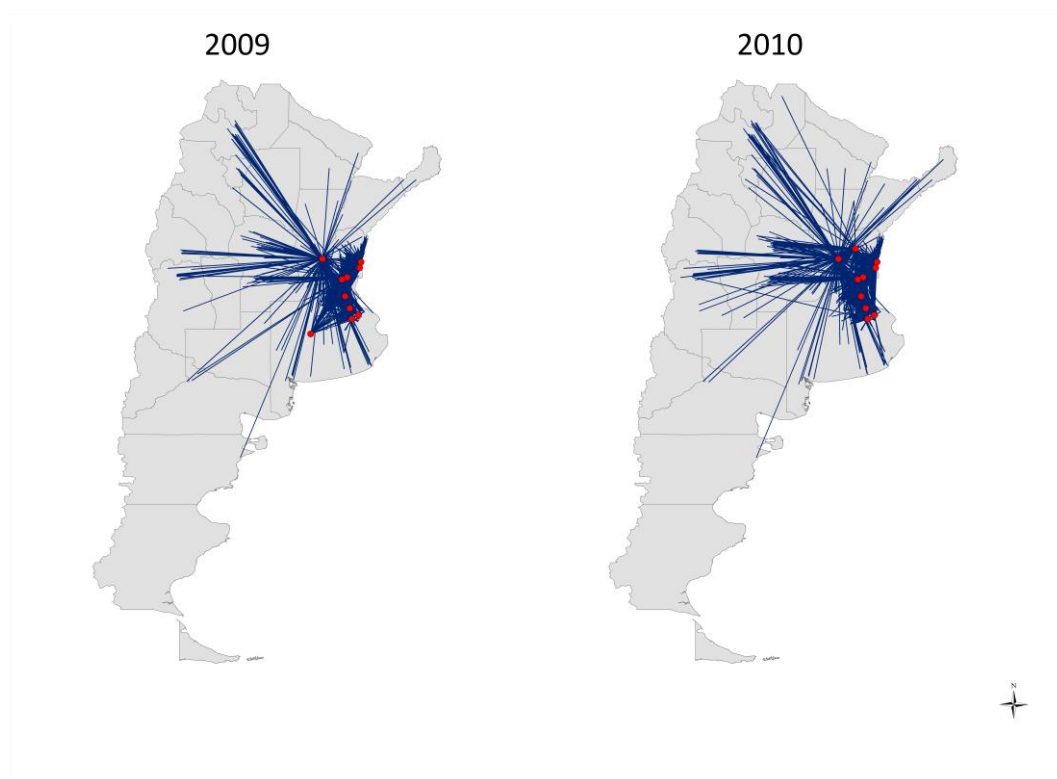


Figura 74. Subred de movimientos en la Rep. Argentina de los diez nodos con mayores out-degree durante el año 2009 y 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático Arc View 3.2.

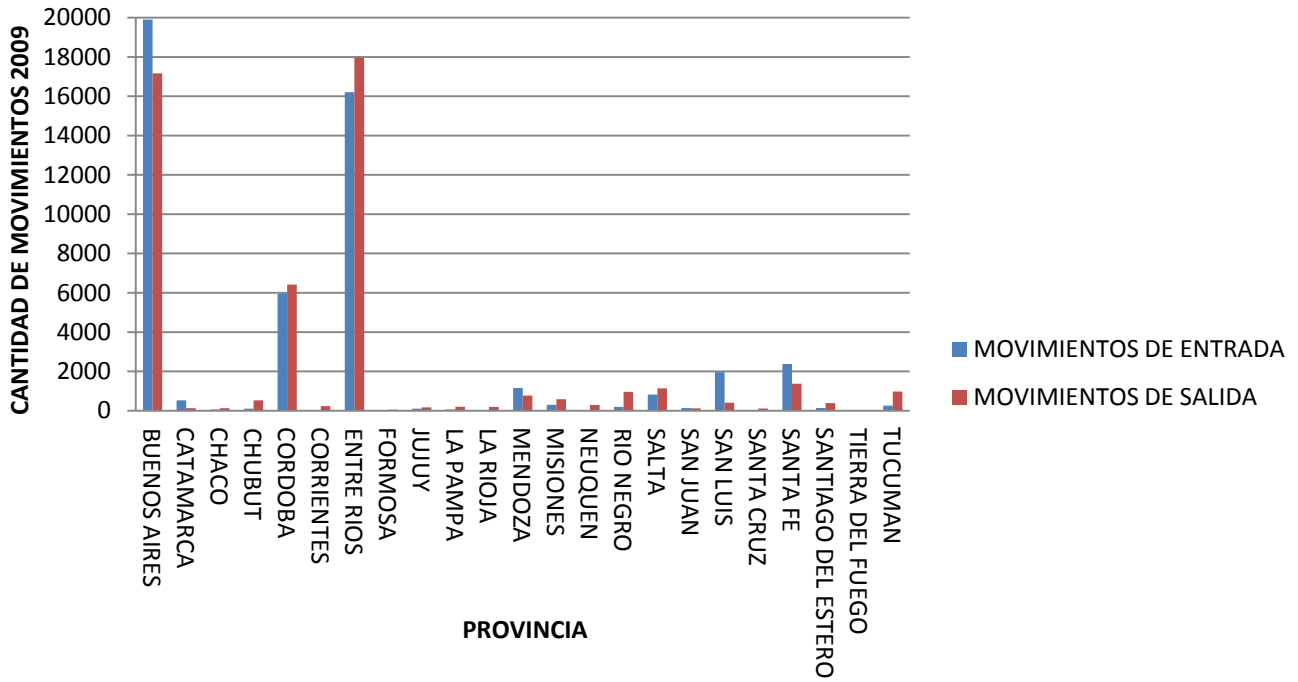


Figura 75. Entrada (in-degree) y salida (out-degree) del total de la red de movimientos en la Rep. Argentina durante el año 2009. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009).

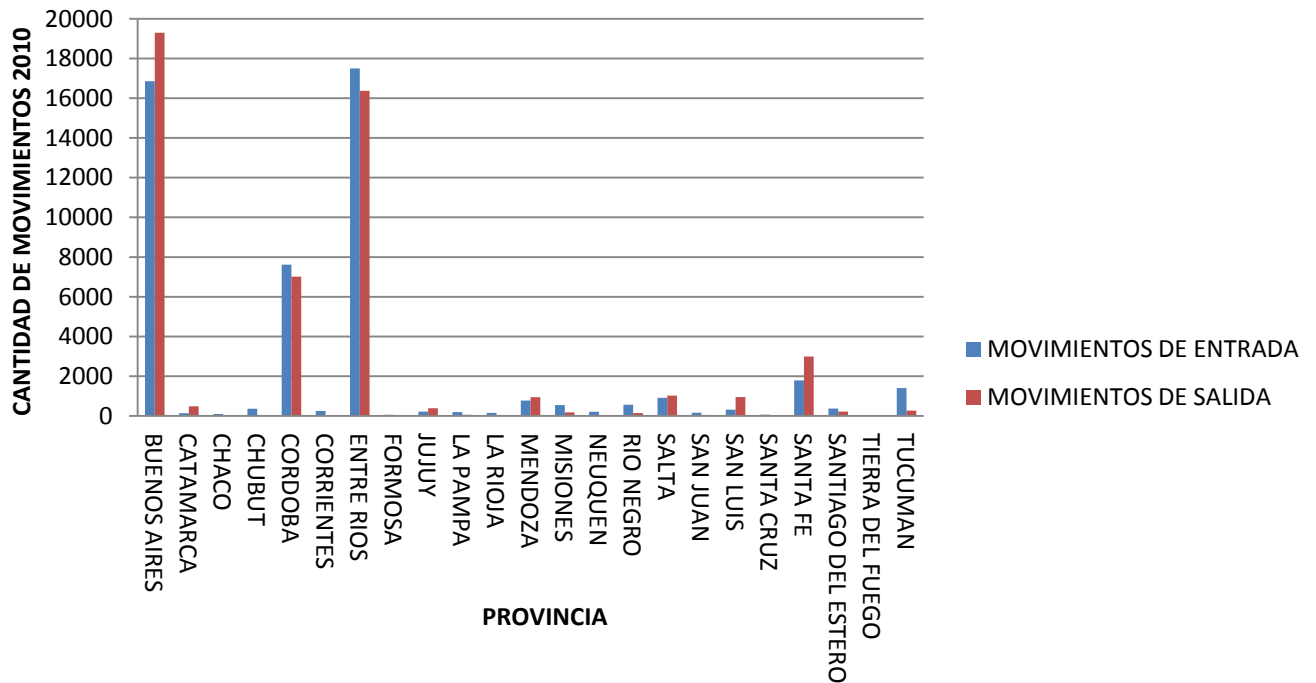


Figura 76. Entrada (in-degree) y salida (out-degree) del total de la red de movimientos en la Rep. Argentina durante el año 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010).

En las figuras 77, 78, 79, 80, se representan mediante el método de densidad Kernel los valores obtenidos de in-degree, out-degree, in-closeness, out-closeness de las provincias de la Rep. Argentina durante los años 2009 y 2010.

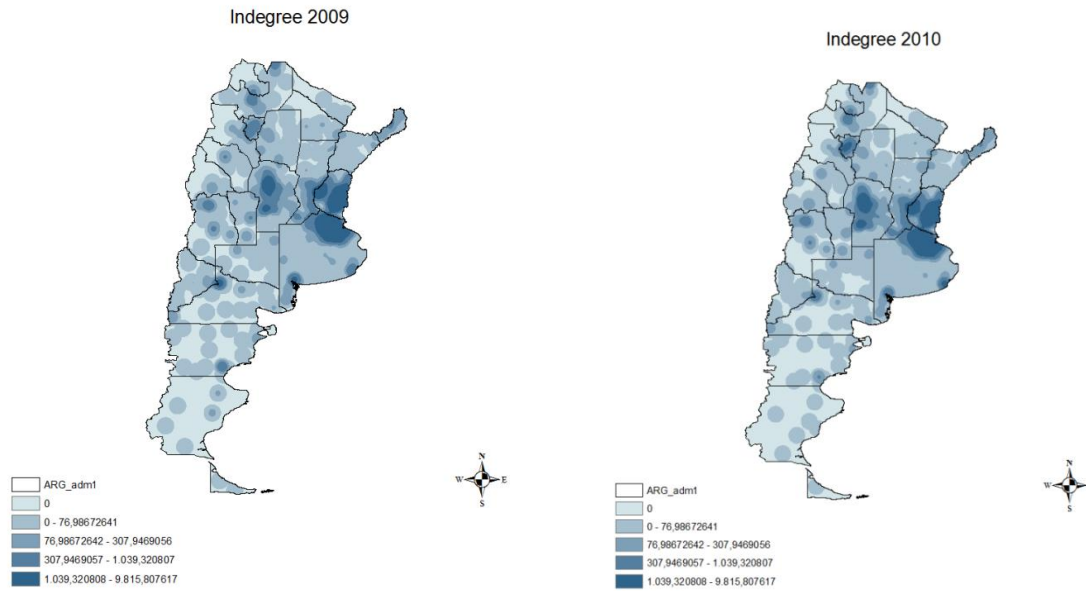


Figura 77. Mapa de in-degree 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

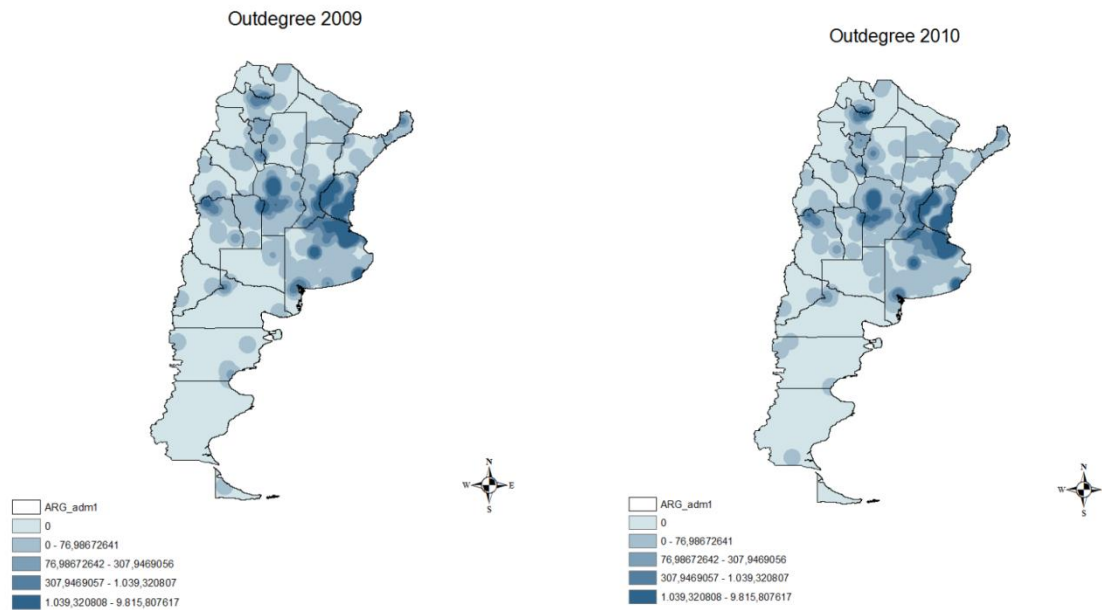


Figura 78. Mapa de out-degree 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

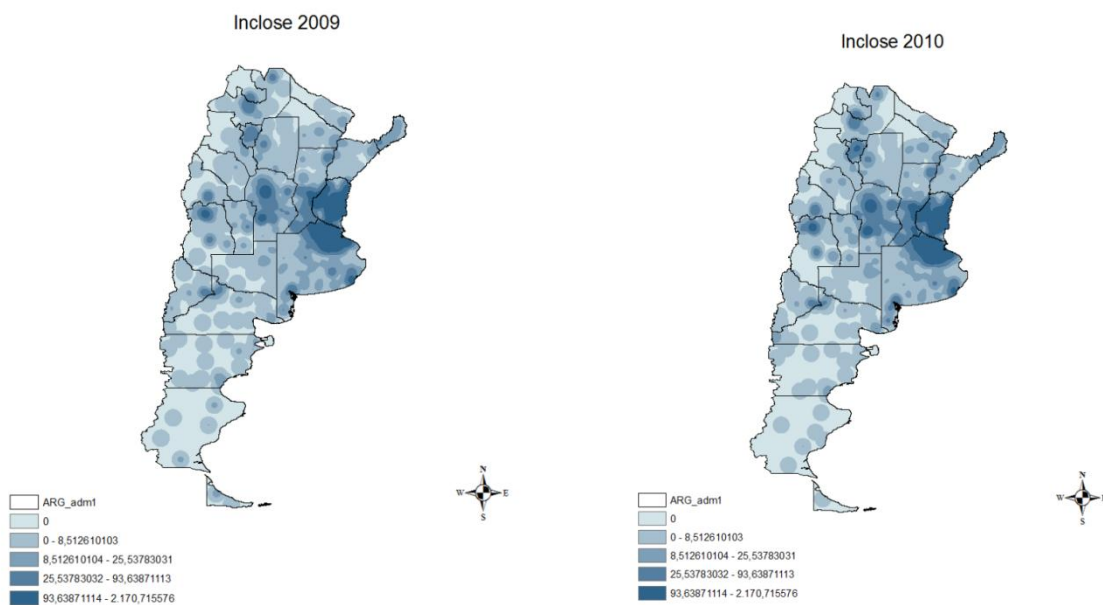


Figura 79. Mapa de in-closeness 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

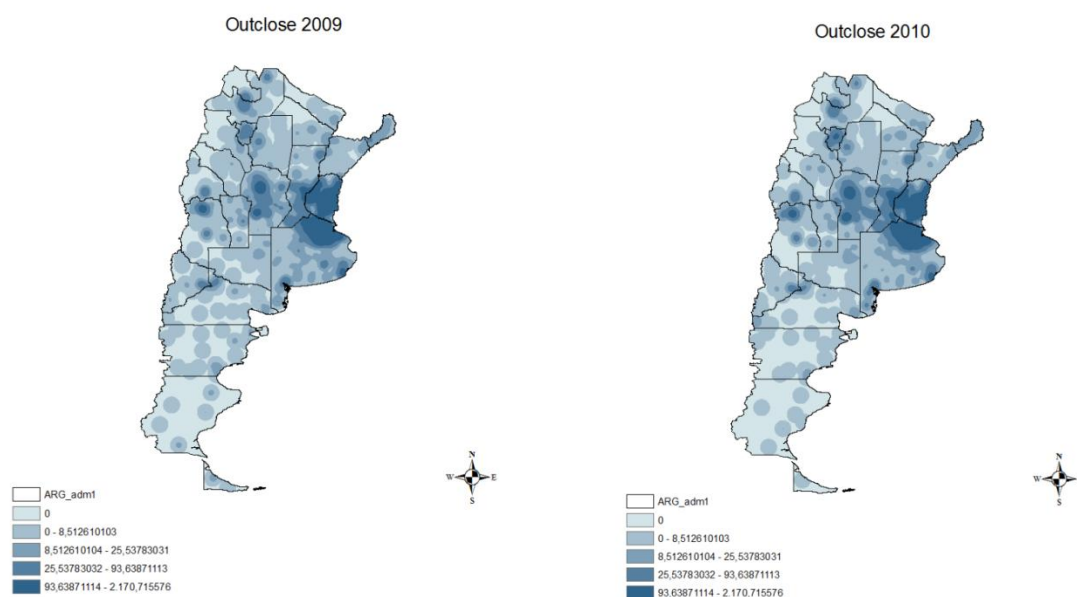


Figura 80. Mapa de out-closeness 2009-2010 en la Rep. Argentina de los movimientos de aves entre granjas mediante el método Kernel. Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010) mediante el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

#### V-2.2.5. Análisis de los movimientos de las granjas comerciales por tipo de producción

En las figuras 81 y 82 se representan los valores de in-degree, out-degree, in-closeness y out-closeness por tipo de producción de todas las granjas de la Rep. Argentina tanto para el 2009 como para el 2010. Los mayores valores de in-degree durante el 2009 y 2010 se producen en las granjas de producción de carne y los mayores valores de out-degree en las plantas de incubación.

Los mayores valores de in-closeness y out-closeness se producen en granjas de producción de carne.

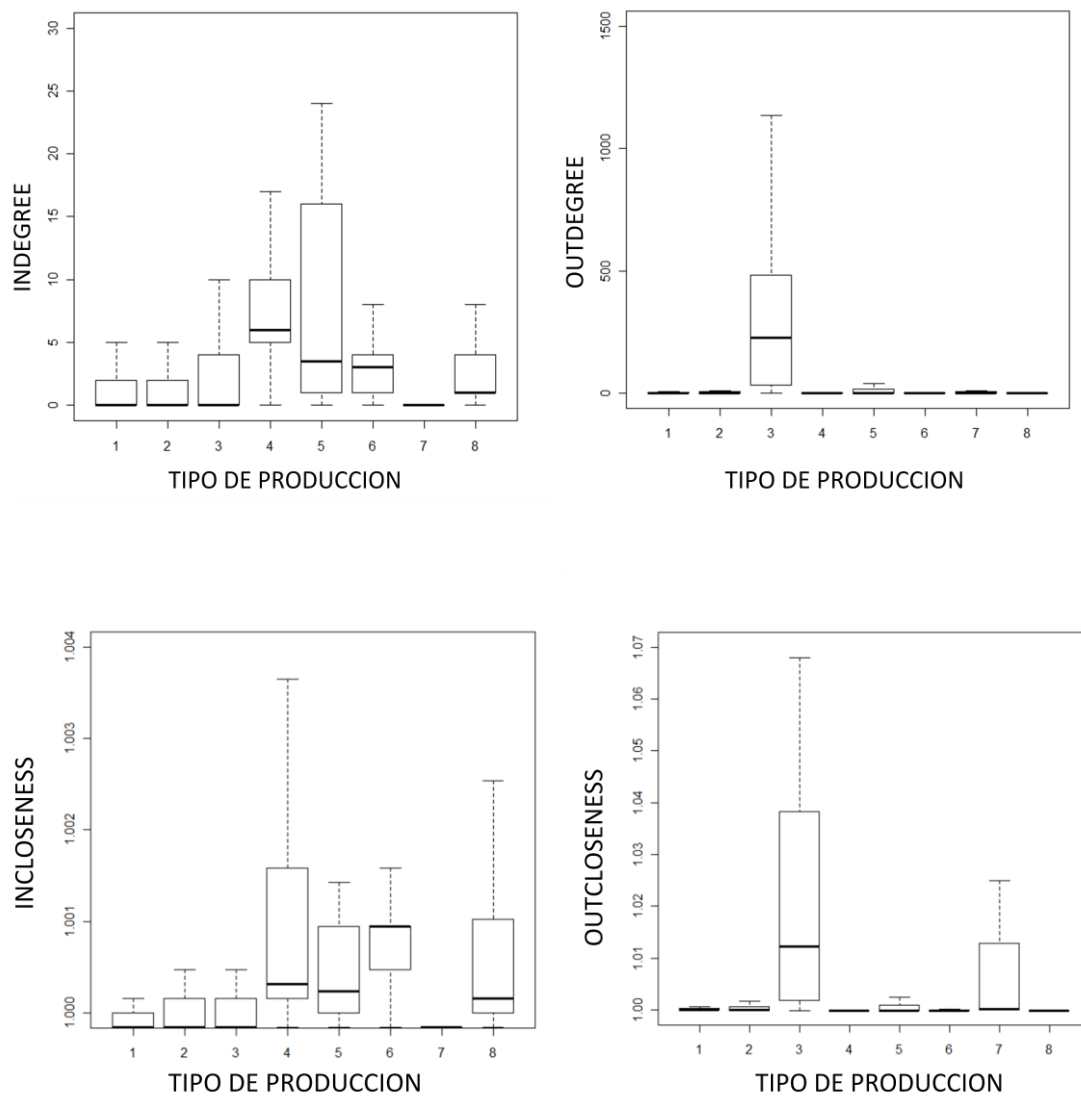


Figura 81. Valores de in-degree, out-degree, in-closeness y out-closeness por tipo de producción de las granjas de la Rep. Argentina, año 2009 (1.*otras producciones*, 2.*aves traspatio*, 3.*plantas de incubación*, 4.*producción de carne*, 5.*producción de carne y huevos*, 6.*producción de huevos*, 7.*reproductores*, 8.*sin determinar*). Elaboración propia con datos del Senasa (2009) mediante el lenguaje R (R.2.10.1). Fuente: Elaboración propia.

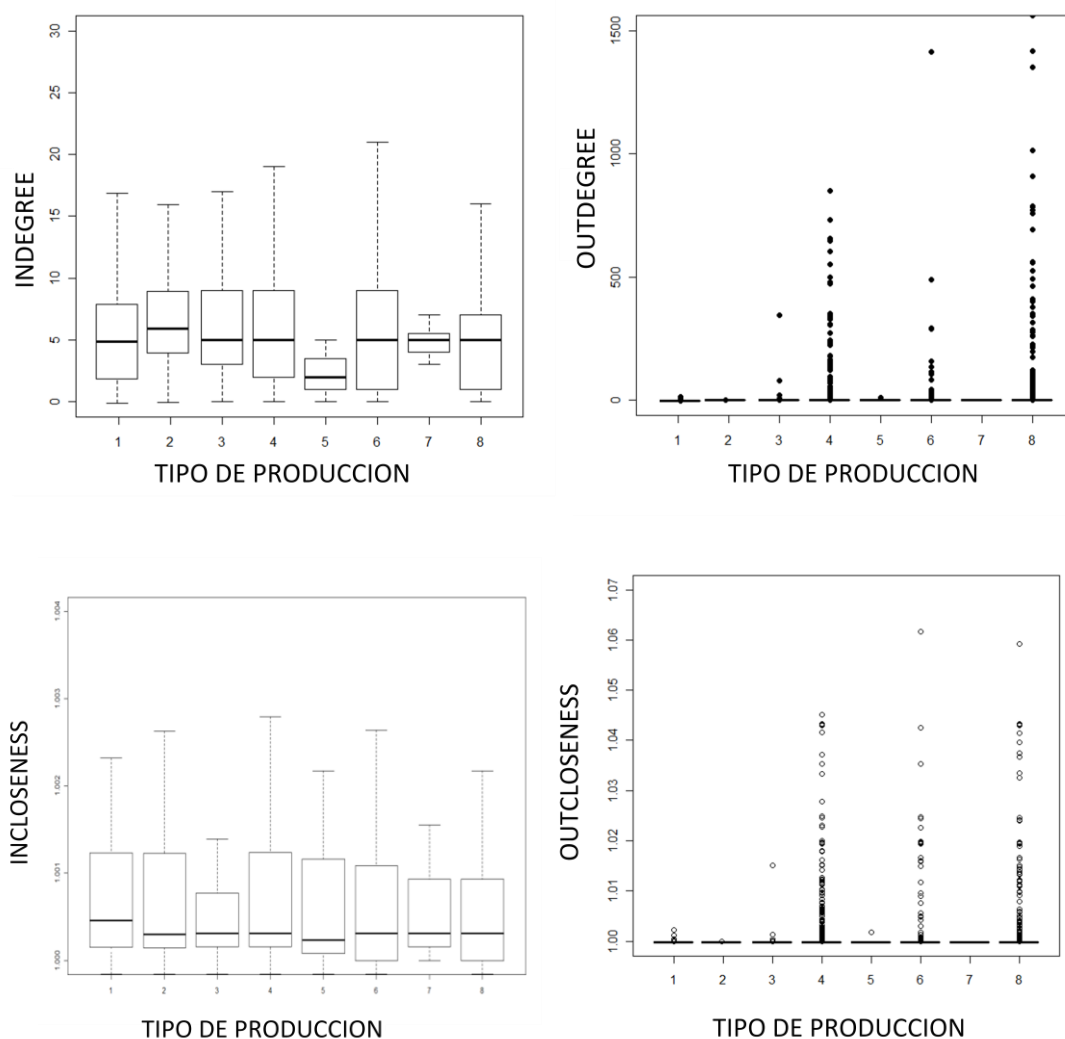
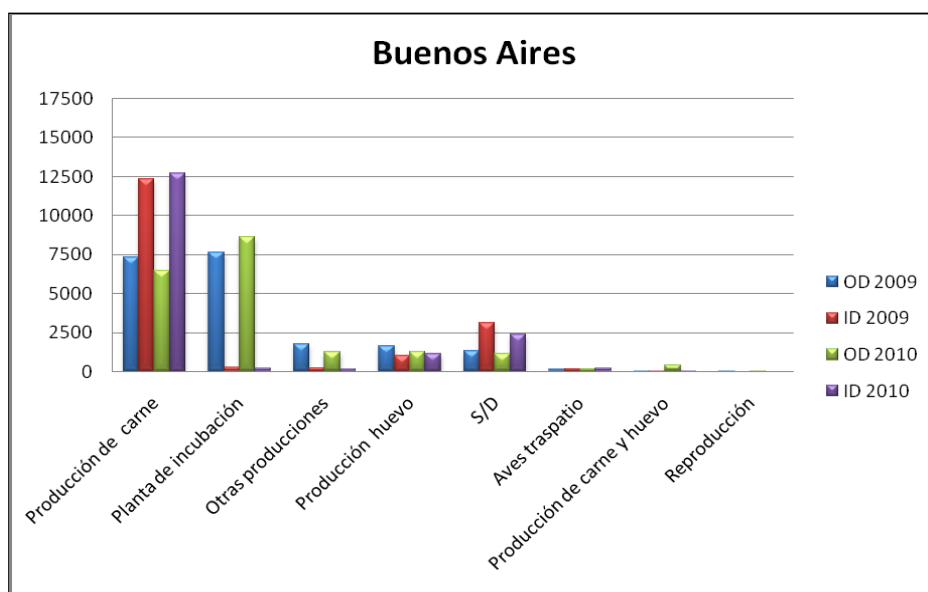


Figura 82. Valores de in-degree, out-degree, in-closeness y out-closeness por tipo de producción de las granjas de la Rep. Argentina, año 2010 (1.*otras producciones*, 2.*aves traspatio*, 3.*plantas de incubación*, 4.*producción de carne*, 5.*producción de carne y huevos*, 6.*producción de huevos*, 7.*reproductores*, 8.*sin determinar*). Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2010) mediante el lenguaje R (R.2.10.1).

Analizando con mayor detalle las dos provincias con mayores porcentajes de movimientos por tipo de producción observamos que en la provincia de Buenos Aires existe un mayor porcentaje de envíos de movimientos (out-degree) en los establecimientos dedicados a *Plantas de incubación* tanto para el 2009 (38.4%) como para el 2010 (44.6%).

De los movimientos entrantes (in-degree) en la provincia de Buenos Aires en el 2009 y el 2010 el mayor porcentaje se produjo en las granjas dedicadas a *Producción de carne*, representando el 71.7% y 75.4% respectivamente (Figura 83).

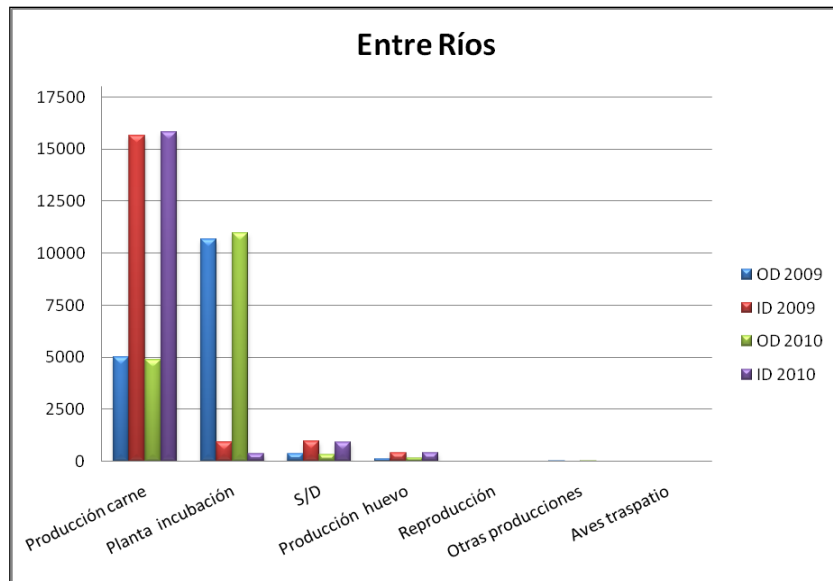


OD: Out-degree, ID: In-degree, S/D: Sin datos

Figura 83. Cantidad de movimientos de entrada y de salida del total de la red de Buenos Aires durante el año 2009 y 2010 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.

En la provincia de Entre Ríos existe un mayor porcentaje de movimientos enviados (out-degree) en los establecimientos dedicados a *Plantas de incubación* tanto para el 2009 (65.7%) como para el 2010 (67%). Con respecto a los movimientos recibidos (in-degree) el mayor número se produjo en las granjas dedicadas a *Producción de carne* (87%) para el 2009 al igual que para el año 2010 (90.4%) (Figura 84).





OD: Out-degree, ID: In-degree, S/D: Sin datos

Figura 84. Cantidad de movimientos de entrada y salida del total de la red de movimientos de Entre Ríos durante el 2009 y 2010 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.

Analizando las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos se observa que los mayores valores de in-closeness y out-closeness se producen en las granjas de producción de carne tanto para el 2009 como para el 2010 (Figura 85 y 86).

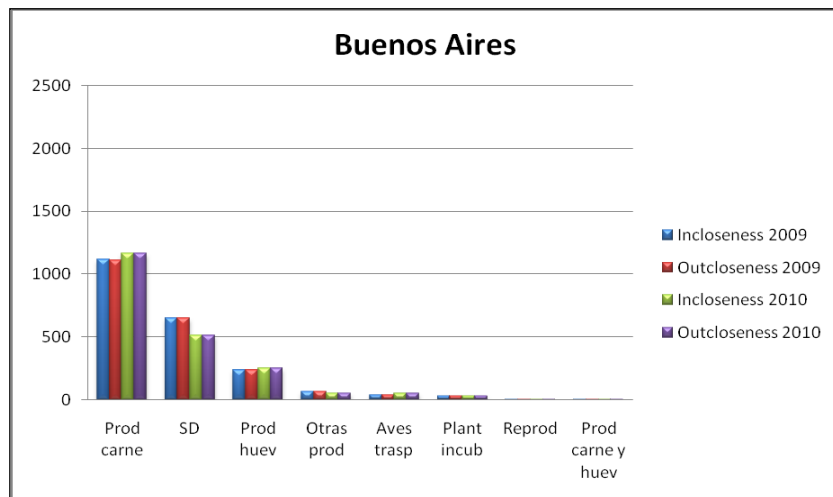


Figura 85. In-closeness y out-closeness del total de la red de movimientos de Buenos Aires y Entre Ríos durante el 2009 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.

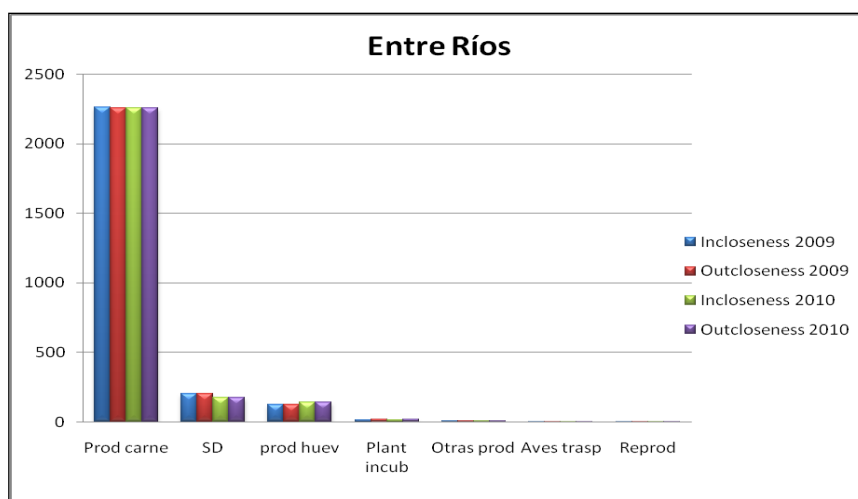


Figura 86. In-closeness y out-closeness del total de la red de movimientos de Buenos Aires y Entre Ríos durante el 2010 por tipo de producción. Fuente: Elaboración propia.

#### V-2.2.6. Análisis de los movimientos de las granjas comerciales por tipo de bioseguridad

Como se explicó en la sección I-2.5 (Bioseguridad de las granjas en la Rep. Argentina) las granjas avícolas comerciales en la Rep. Argentina fueron categorizadas según el nivel de bioseguridad en *A (granjas con muy adecuada bioseguridad)*, *B (granjas con adecuada bioseguridad)* y *C (granjas con inadecuada bioseguridad)*, y *S/D* (granjas que no estaban categorizadas).

Del total de las granjas comerciales de la provincia de Buenos Aires que realizaron movimientos de salida (envíos de aves hacia otras granjas) un 70% correspondían a granjas categorizadas con niveles de bioseguridad A y B durante el 2009 y un 65% para el 2010. En relación a las granjas que reciben movimientos de aves de otras granjas durante el año 2009 y 2010, el 67% y 70% eran granjas con niveles de bioseguridad A y B (Figura 83).

Para la provincia de Entre Ríos, el 73% del total de las granjas que realizaron movimientos de salida eran granjas con niveles de bioseguridad A y B. Con respecto a los movimientos de entrada para el 2009 y 2010 un 80% de las granjas estaban categorizadas con niveles de bioseguridad A y B (Figura 84).

Los datos obtenidos en esta sección sobre la bioseguridad de las granjas comerciales de las dos provincias con mayores porcentajes de movimientos indican que la mayoría de las granjas que realizan movimientos tanto de entrada como de salida tienen un nivel de

bioseguridad A y B, nivel adecuado para minimizar el ingreso y difusión de enfermedades aviares.

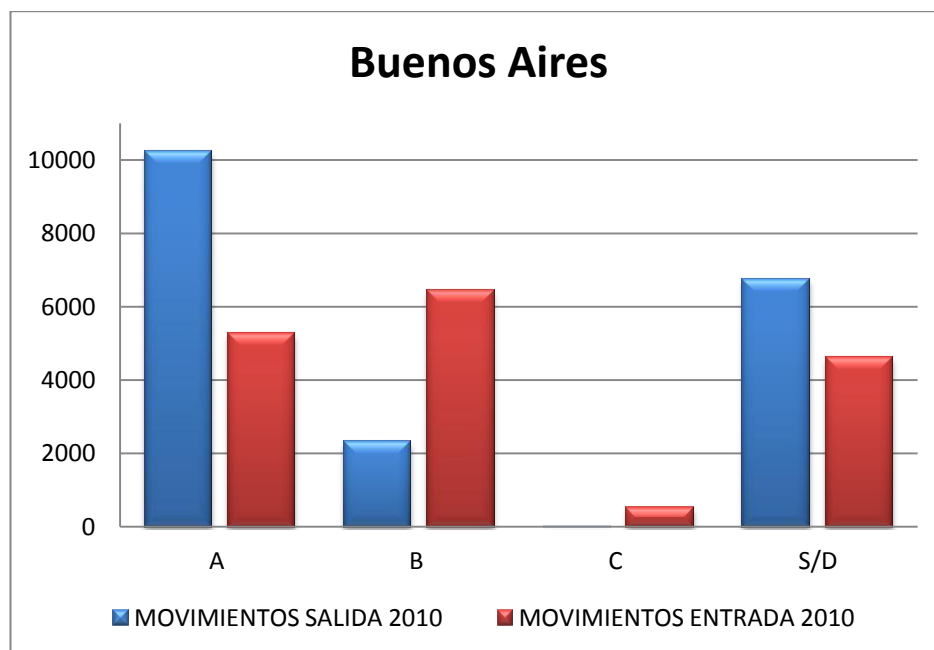
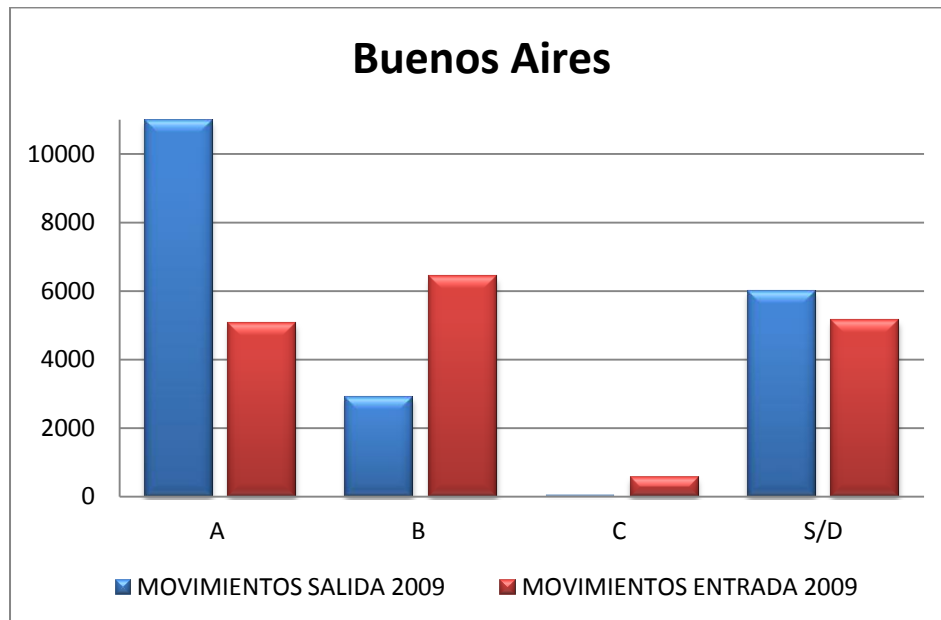


Figura 87. Cantidad de movimientos de entrada y salida por tipo de bioseguridad de las granjas en la provincia de Buenos Aires, año 2009 y 2010. Granjas con nivel de Bioseguridad A, B, C y S/D (sin categorizar). Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010).

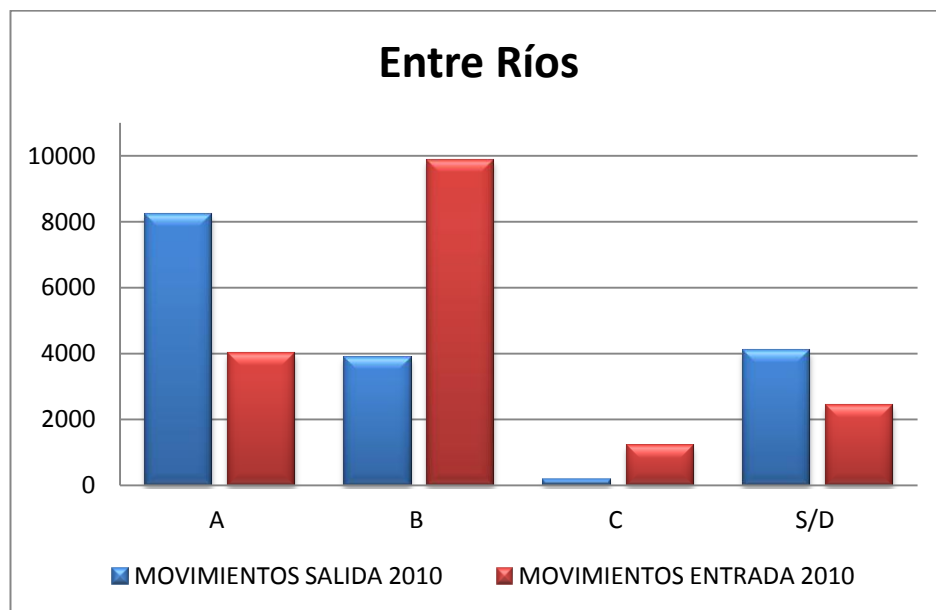
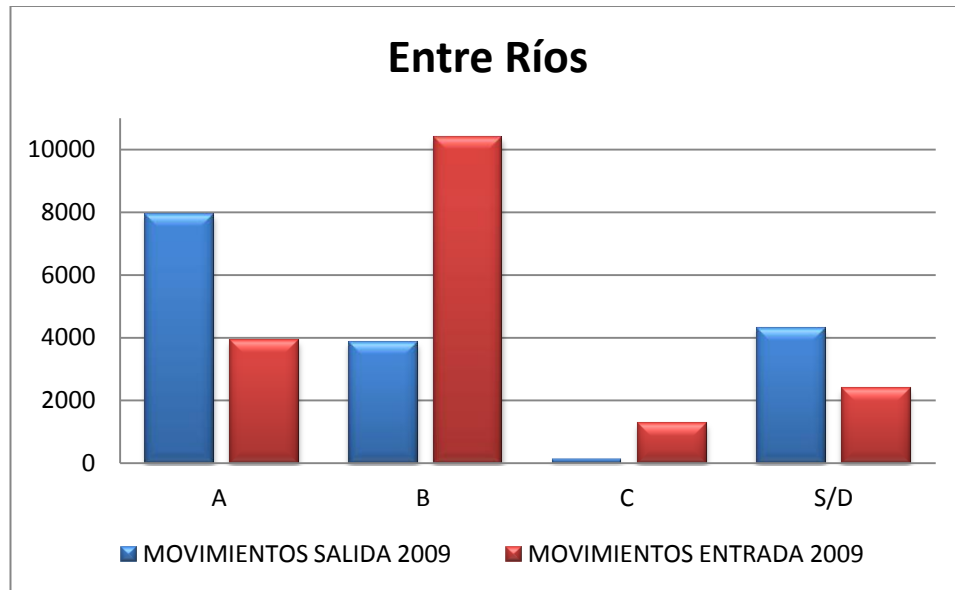


Figura 88. Cantidad de movimientos de entrada y salida por tipo de bioseguridad de las granjas en la provincia de Entre Ríos, año 2009 y 2010. Granjas con nivel de Bioseguridad A, B, C y S/D (sin categorizar). Fuente: Elaboración propia con datos del Senasa (2009-2010).

### V-3. MODELO DE DIFUSIÓN DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA

A continuación se describen los principales resultados obtenidos de una epidemia del VNC en la Rep. Argentina basado en la red real de contactos entre explotaciones avícolas realizado mediante un modelo de simulación SIR.

#### V-3.1. Análisis de los contactos durante la simulación de una epidemia

Los principales resultados obtenidos durante la simulación de una epidemia de 16 días de duración en los 14 escenarios diferentes seleccionados, basados en distintas granjas primo-infectadas (casos índices), para cada una de 3 simulaciones realizadas en diferentes meses del año 2010 se representan en la tabla 42.

Tabla 42. Resultados de las tres simulaciones realizadas en cada una de los 14 escenarios seleccionados. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático R (R.2.15.1) y la librería EpiContactTrace.

| Escenario N° | TP <sup>1</sup> | Provincia    | Simulación 1     |                 |                 | Simulación 2     |                 |                 | Simulación 3     |                 |                 |
|--------------|-----------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|              |                 |              | NPS <sup>2</sup> | AP <sup>3</sup> | AS <sup>4</sup> | NPS <sup>2</sup> | AP <sup>3</sup> | AS <sup>4</sup> | NPS <sup>2</sup> | AP <sup>3</sup> | AS <sup>4</sup> |
| 1            | 1               | ENTRE RIOS   | 79               | 2.282.964       | 0               | 90               | 233.3470        | 0               | 87               | 2.448.265       | 0               |
| 2            | 1               | ENTRE RIOS   | 42               | 513.700         | 88.030          | 38               | 463.900         | 28.840          | 46               | 415.000         | 26.240          |
| 3            | 3               | BUENOS AIRES | 14               | 99.600          | 0               | 1                | 16.500          | 0               | 8                | 112.200         | 0               |
| 4            | 2               | ENTRE RIOS   | 57               | 739.350         | 16.600          | 39               | 707.500         | 22.500          | 64               | 839.600         | 2.3240          |
| 5            | 1               | BUENOS AIRES | 36               | 1.439.800       | 0               | 36               | 1.593.350       | 0               | 51               | 1.442.700       | 0               |
| 6            | 2               | ENTRE RIOS   | 70               | 1.706.440       | 0               | 54               | 1.477.707       | 0               | 58               | 2.036.903       | 0               |
| 7            | 1               | BUENOS AIRES | 43               | 4.056.636       | 0               | 47               | 3.853.389       | 0               | 46               | 4.370.790       | 0               |
| 8            | 2               | BUENOS AIRES | 20               | 1.351.000       | 0               | 27               | 16.205.500      | 0               | 37               | 2.605.750       | 0               |
| 9            | 2               | ENTRE RIOS   | 32               | 1.062.376       | 0               | 32               | 943.347         | 0               | 32               | 1.026.587       | 0               |
| 10           | 4               | BUENOS AIRES | 16               | 704.900         | 0               | 25               | 1.071.000       |                 | 28               | 1.044.250       | 0               |
| 11           | 1               | SANTA FE     | 1                | 3.500           | 0               | 2                | 4.000           | 0               | 3                | 7.000           | 0               |
| 12           | 3               | BUENOS AIRES | 1                | 7.000           | 0               | 2                | 9.500           | 0               | 0                | 0               | 0               |
| 13           | 2               | ENTRE RIOS   | 55               | 1.231.000       | 0               | 42               | 865.900         | 0               | 63               | 1.247.650       | 0               |
| 14           | 3               | ENTRE RIOS   | 0                | 0               | 0               | 0                | 0               | 0               | 0                | 0               | 0               |

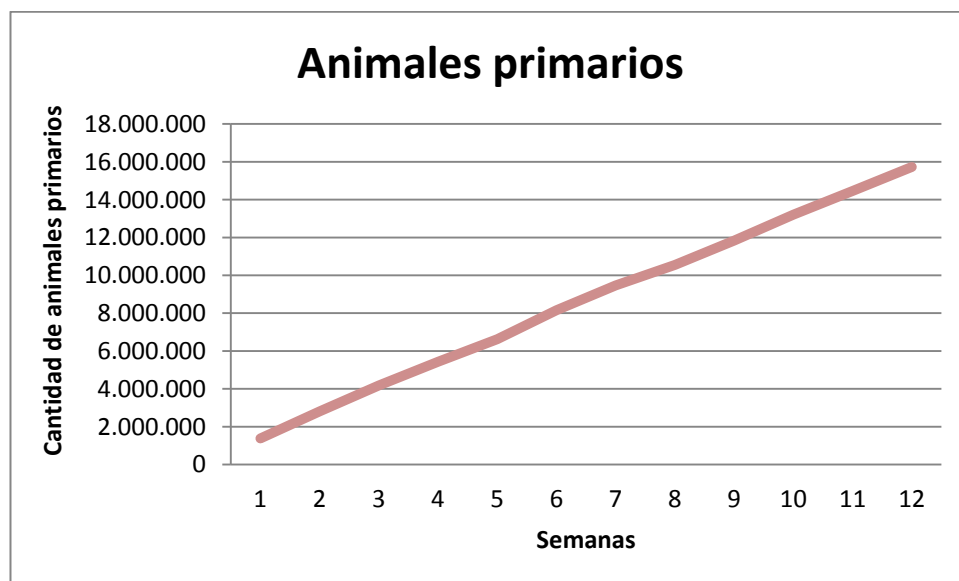
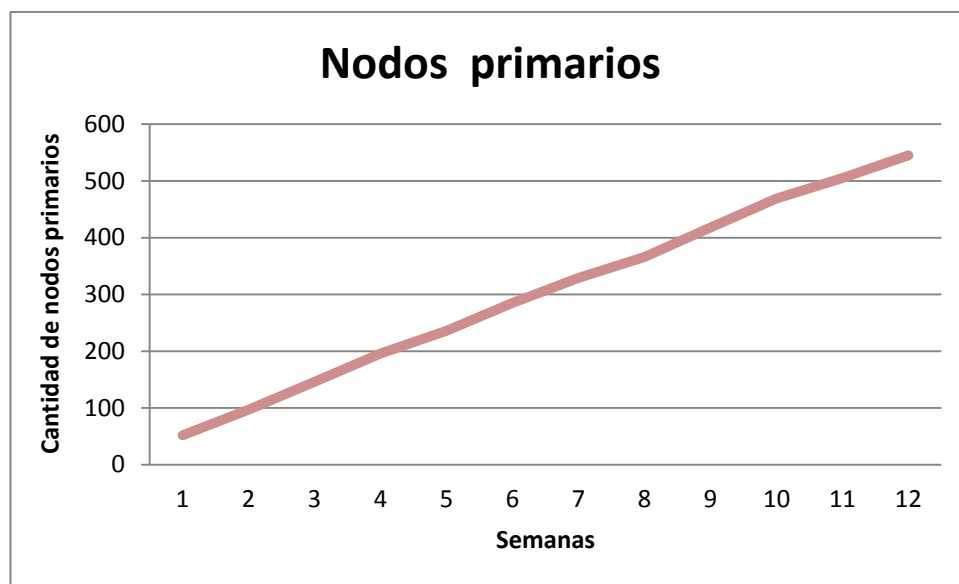
<sup>1</sup>TP: Tipo de producción, 1=Producción de carne, 2=Plantas de incubación, 3=Producción de huevos, 4=Otras producciones.

<sup>2</sup>NPS: Nodos (granjas) primarios y secundarios

<sup>3</sup>AP: Animales primarios

<sup>4</sup>AS: Animales secundarios

Además, se realizó el análisis de los contactos (granjas y aves) durante la simulación de una epidemia de 12 semanas de duración basado en la red real de contactos primarios y secundarios con el fin de identificar variaciones por semana del número de animales y nodos, y así poder evaluar cómo afecta el tiempo de detección en relación a la cantidad de animales y granjas. La simulación fue realizada para dos escenarios diferentes comenzando en ambos casos en la semana 36 del 2010. Para el escenario N° 1 se seleccionó como caso índice una granja con un alto valor de out-degree y para el escenario N° 2 se seleccionó una granja con alto número de contactos secundarios. Los resultados obtenidos sobre la cantidad de nodos y animales, primarios y secundarios, en cada una de las semanas están representados en la figura 89 y figura 90.



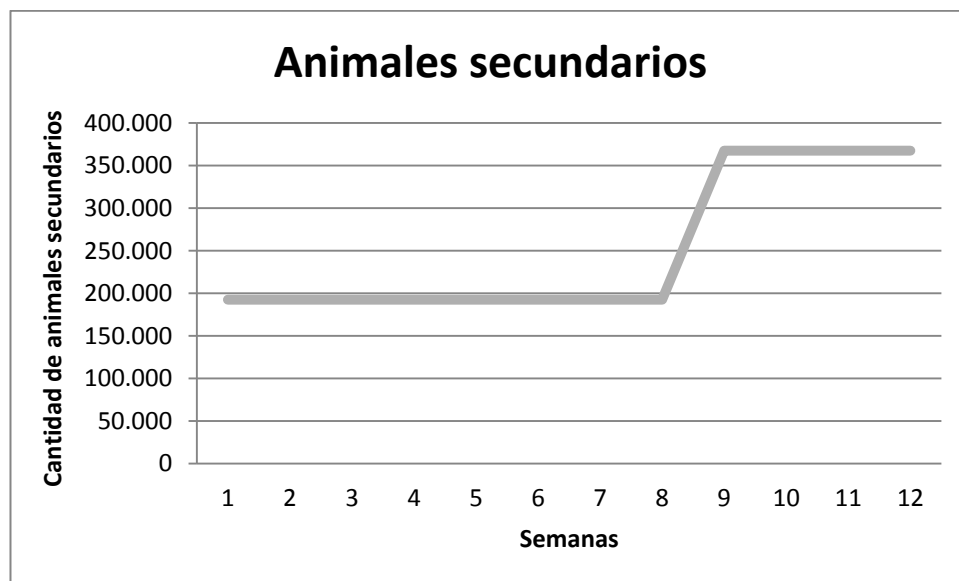
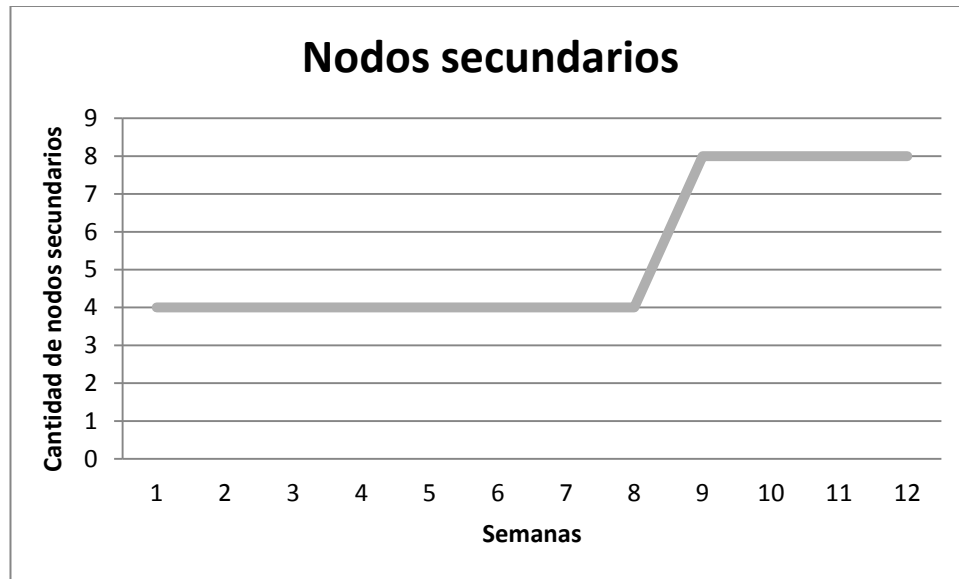
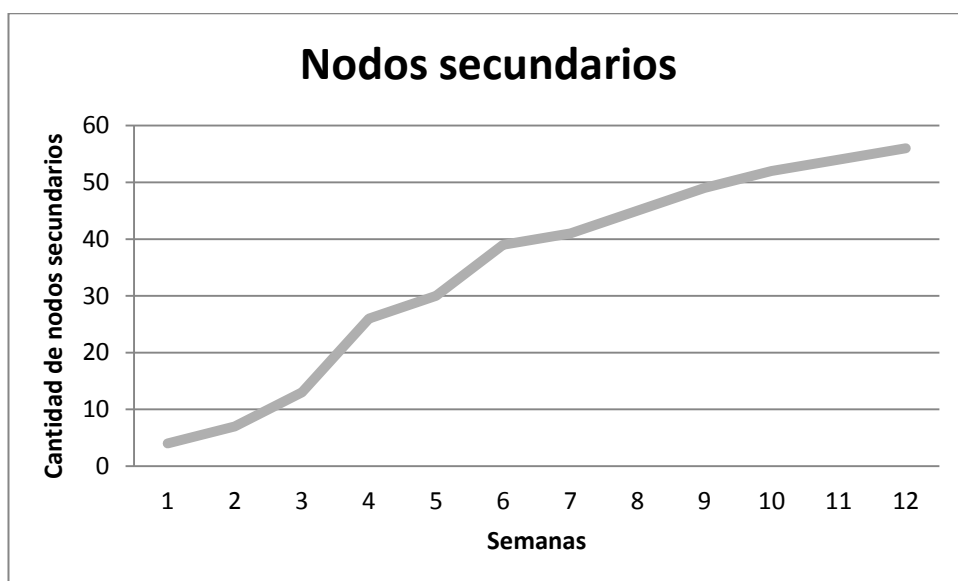
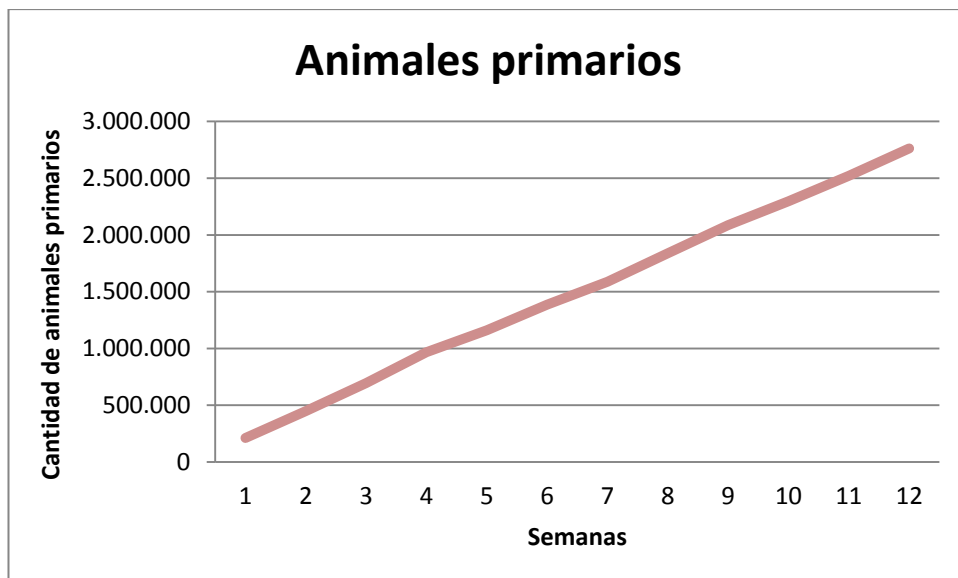


Figura 89. Escenario N° 1. Cantidad de nodos y animales primarios y secundarios durante la simulación de una epidemia de 12 semanas de duración comenzando en la semana 36 del año 2010. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático R (R.2.15.1).





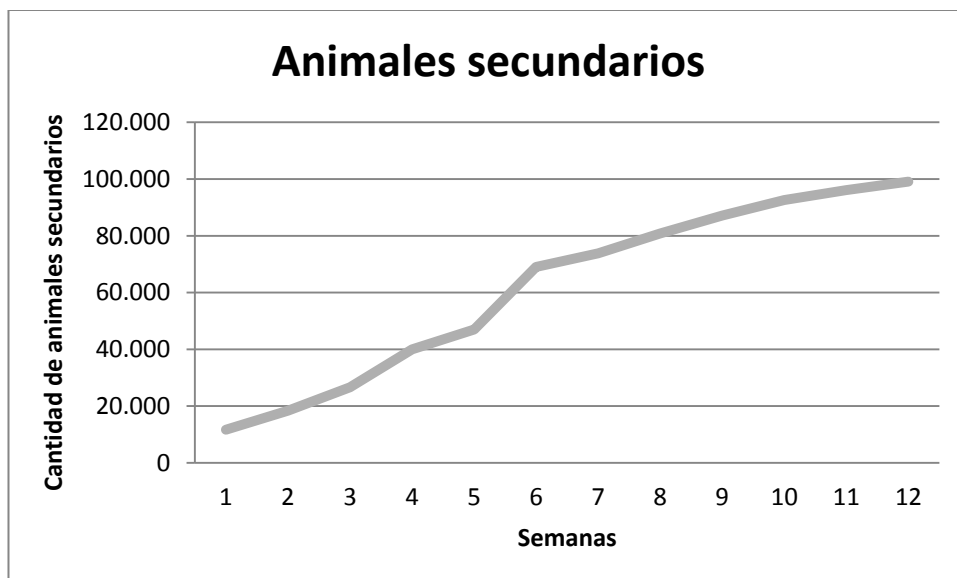


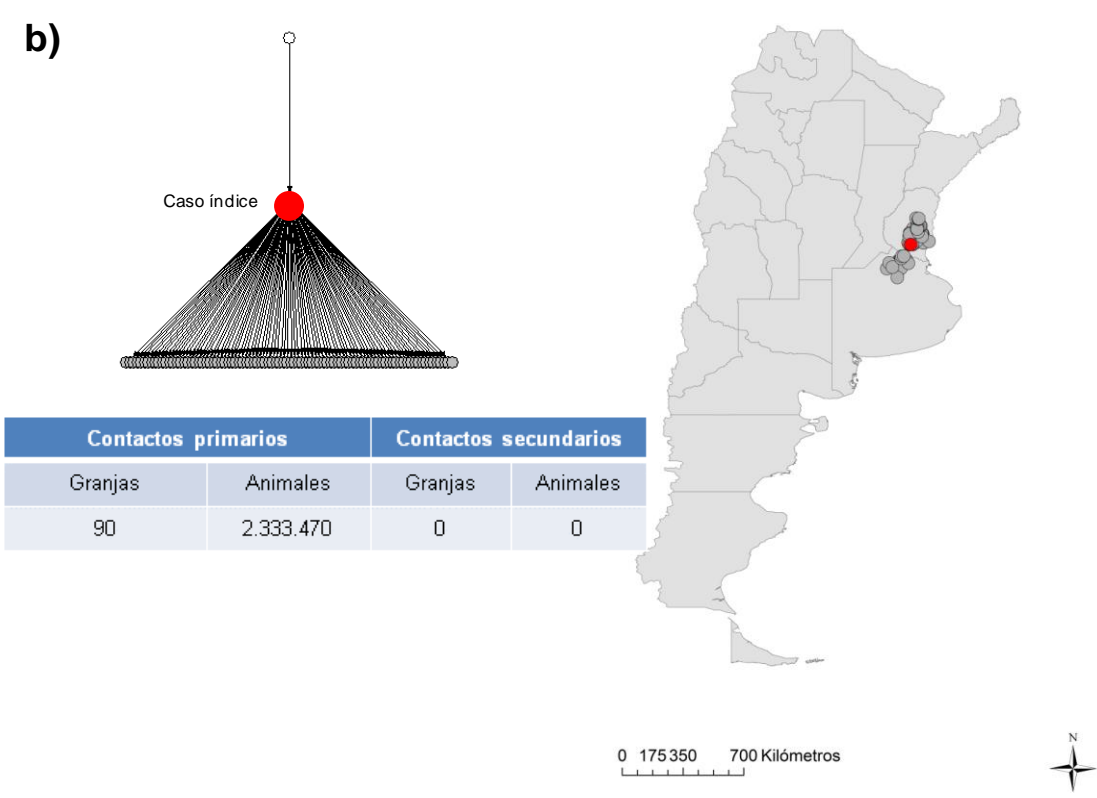
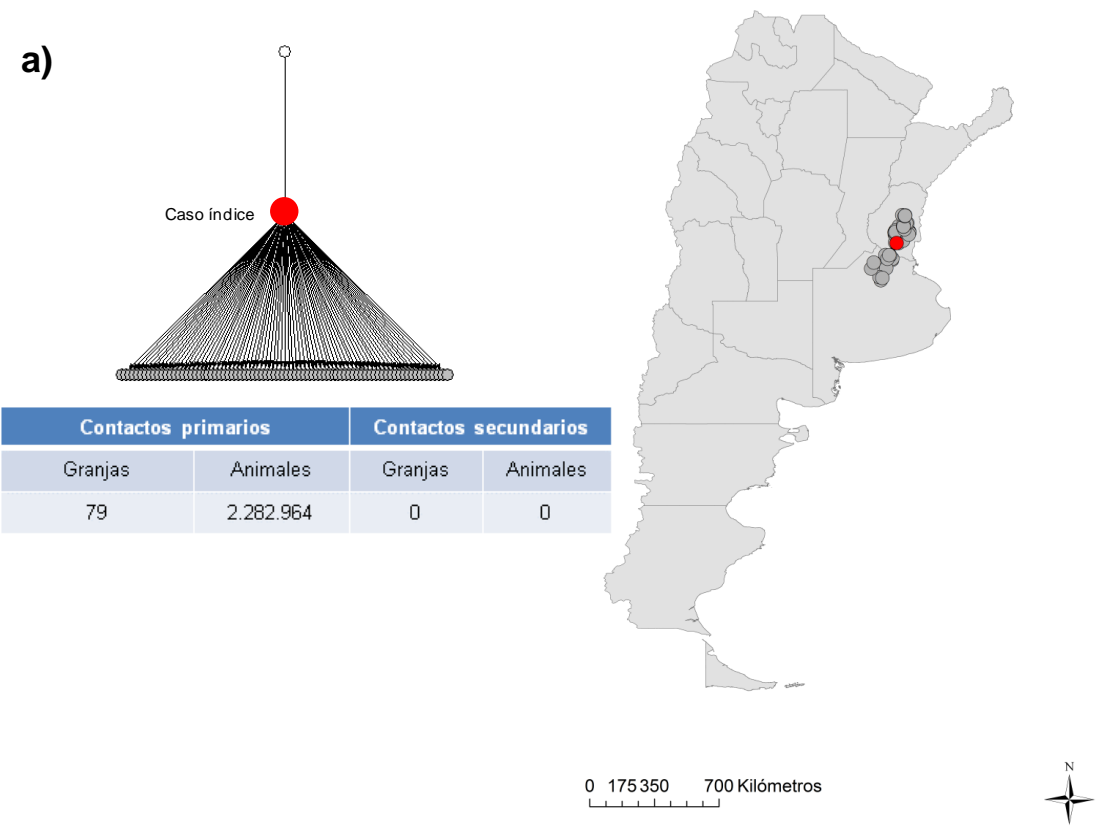
Figura 90. Escenario N° 2. Cantidad de nodos y animales primarios y secundarios durante la simulación de una epidemia de 12 semanas de duración comenzando en la semana 36 del año 2010. Fuente: Elaboración propia mediante el programa informático R (R.2.15.1)

El aumento de los contactos de los nodos primarios para el escenario N° 1 fue de 45 por semana (Figura 89), mientras que para el escenario N° 2, el aumento fue en promedio 16 nodos por semana (Figura 90). Al igual que para los nodos primarios, hay un aumento lineal de los animales primarios para ambos ejemplos. Ambos escenarios corresponden a granjas dedicadas a la producción de carne.

En la figura 91, 92 y 93 se representan esquemáticamente tres escenarios diferentes de una simulación de una epidemia de 16 días de duración, se detallan la cantidad de contactos primarios y secundarios (animales y granjas) y su localización.

El escenario N° 1 (Figura 91) corresponde a una granja dedicada a la producción de carne localizada en la provincia de Entre Ríos, esta granja fue identificada en la sección V-2 como la granja con mayor out-degree. Se simuló una epidemia de 16 días comenzando en esta granja. La media de animales movilizados fue de 2.354.900 y la cantidad de contactos infectados primarios fue de 85. No se producen contactos ni transmisiones secundarias hacia otras granjas.

Es importante observar en este ejemplo que en caso que se produzca un brote, las provincias afectadas serán solo dos, Entre Ríos y Buenos Aires.



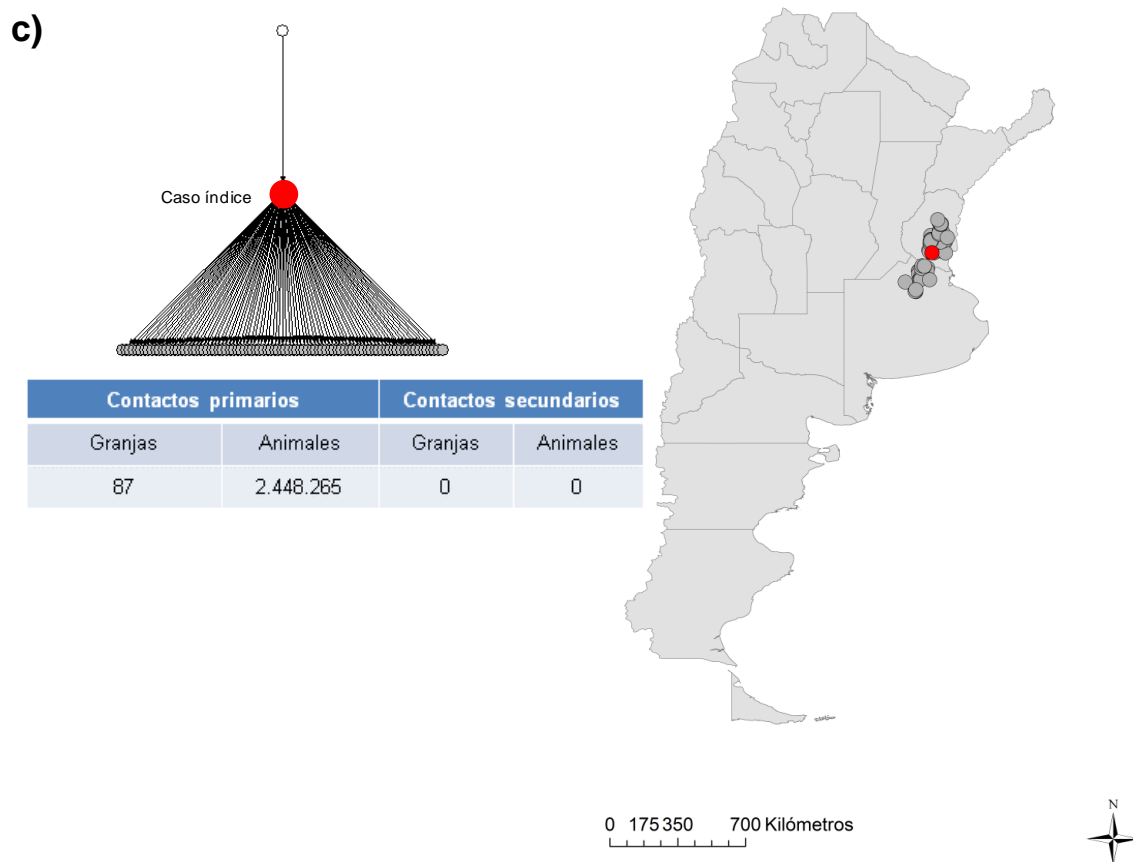
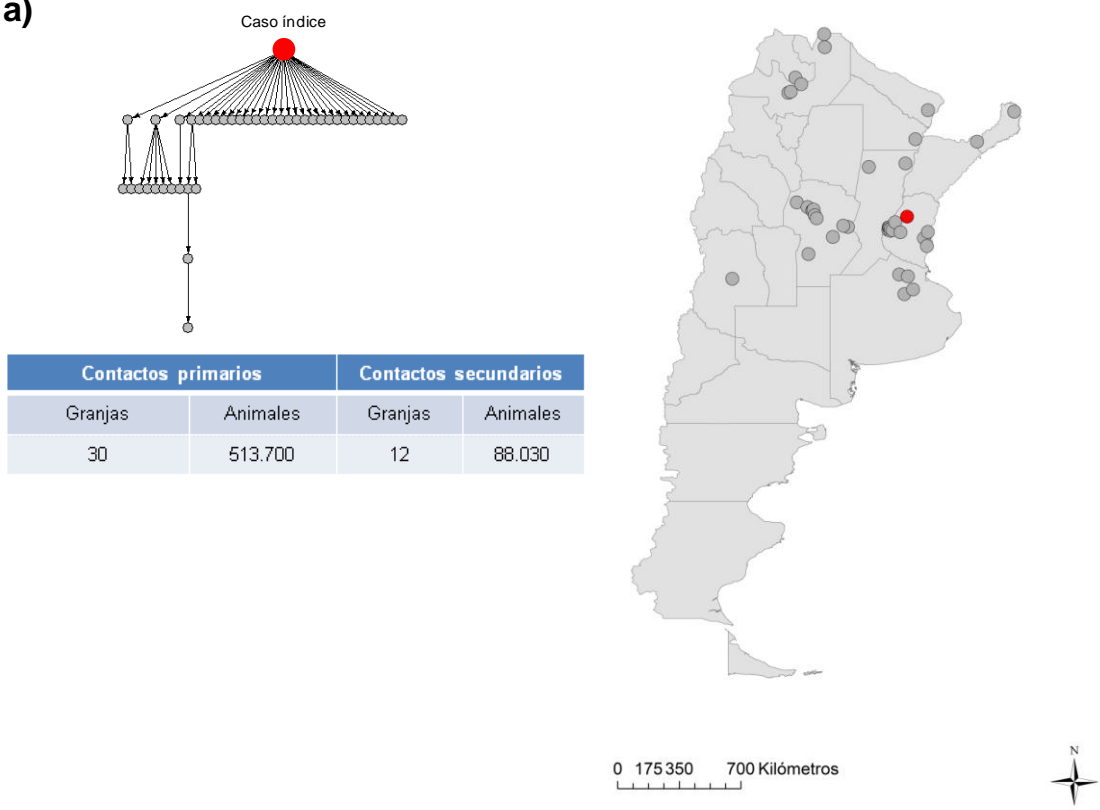


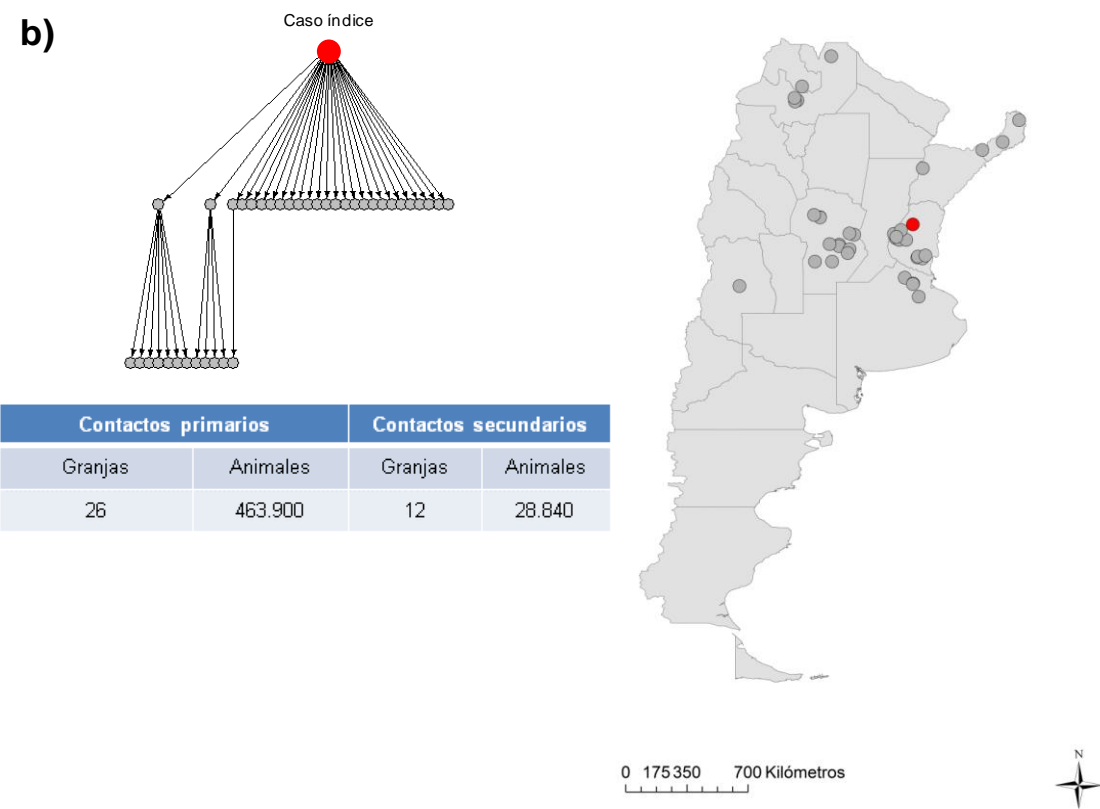
Figura 91. Escenario N° 1. Representación esquemática de la simulación una epidemia de 16 días de duración comenzando en el mes de abril (a), junio (b) y octubre(c). Se indican la cantidad de contactos primarios y secundarios de animales y granjas. El círculo rojo representa el caso índice y los círculos grises a los contactos. Fuente: Elaboración propia mediante el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace y el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El escenario N° 2 (Figura 92) corresponde a una epidemia cuyo caso índice se produce en una granja localizada en la provincia de Entre Ríos dedicada a la producción de carne con un alto valor de out-degree. En este ejemplo se observa que los contactos tanto primarios como secundarios se encuentran localizados en diversas provincias lo que supone un riesgo mayor debido a que la difusión será mayor. La media de animales primarios movilizados fue de 371.978 y 47.703 secundarios, mientras que la cantidad de establecimientos infectados primarios fue de 26 y 16 secundarios.

a)



b)



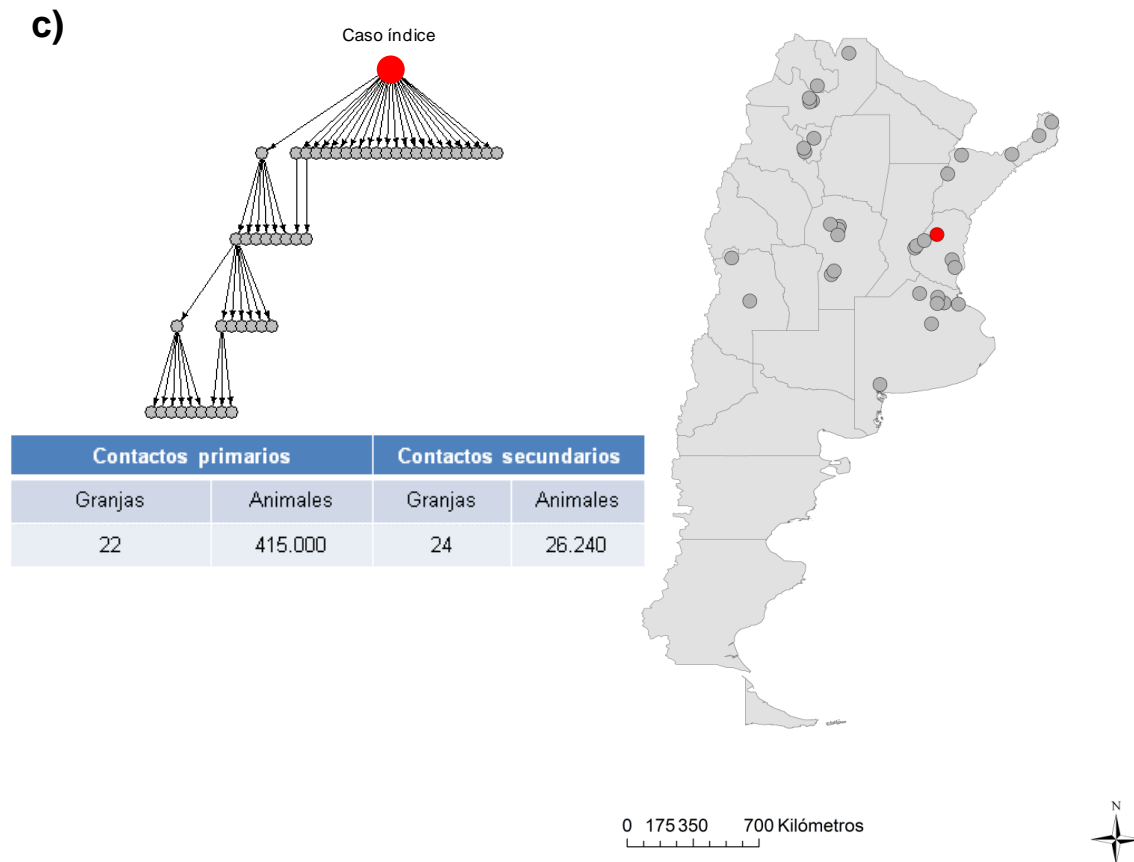
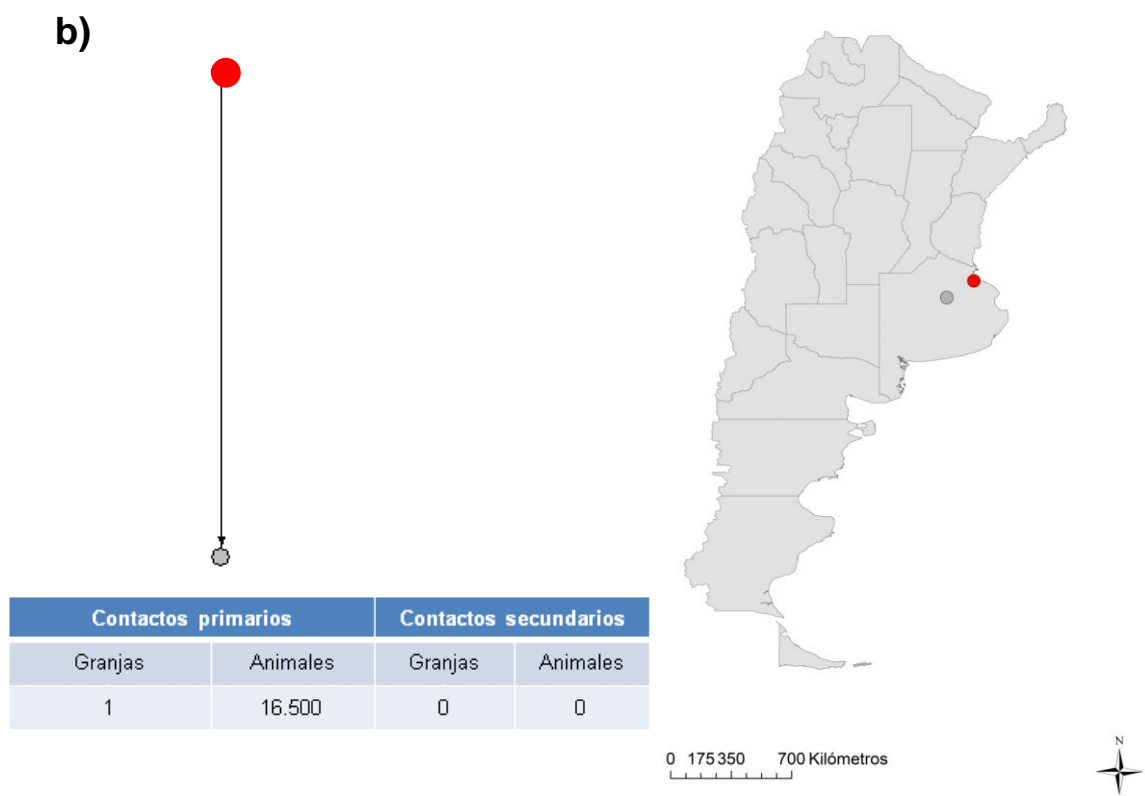
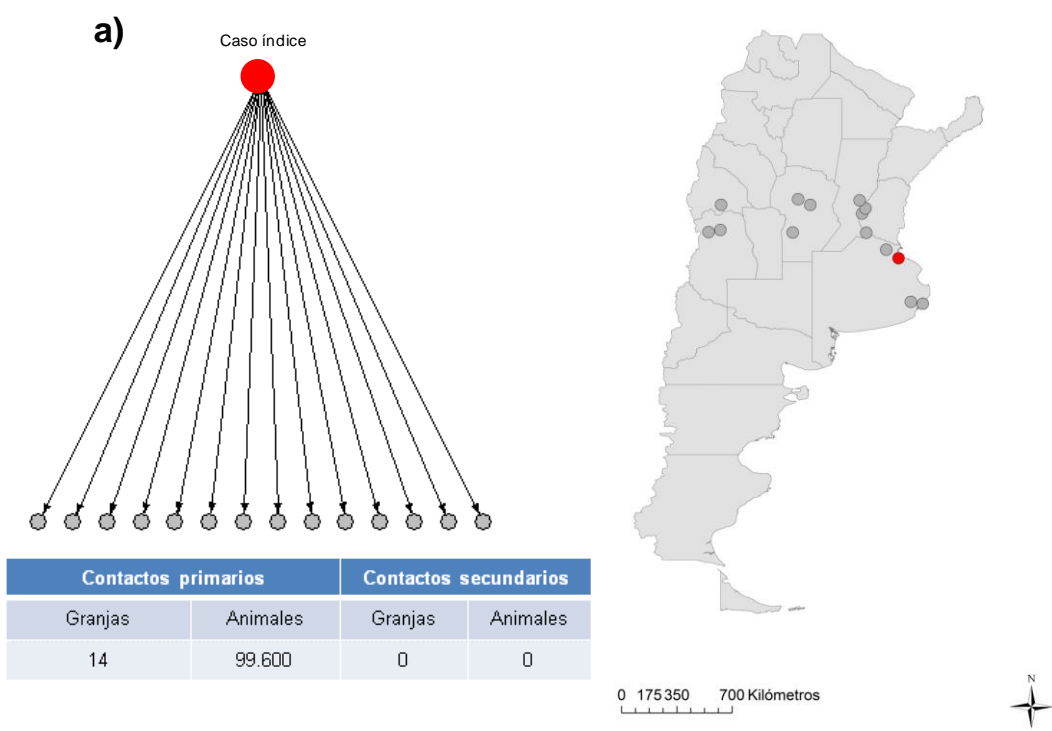


Figura 92. Escenario N° 2. Representación esquemática de la simulación una epidemia de 16 días de duración comenzando en el mes de abril (a), junio (b) y octubre(c). Se indican la cantidad de contactos primarios y secundarios de animales y granjas. El círculo rojo representa el caso índice y los círculos grises a los contactos. Fuente: Elaboración propia mediante el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace y el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

El escenario N° 3 (Figura 93) corresponde a una granja localizada en la provincia de Buenos Aires dedicada a la producción de huevos con el out-degree más alto en este tipo de producción identificada en la sección V-2. El promedio de animales movilizados fue de 76.100 y la cantidad de establecimientos infectados primarios fue de 8. En este ejemplo no se producen contactos secundarios por lo que el control de la epidemia sería más fácil de llevarse a cabo que para el escenario N° 2.



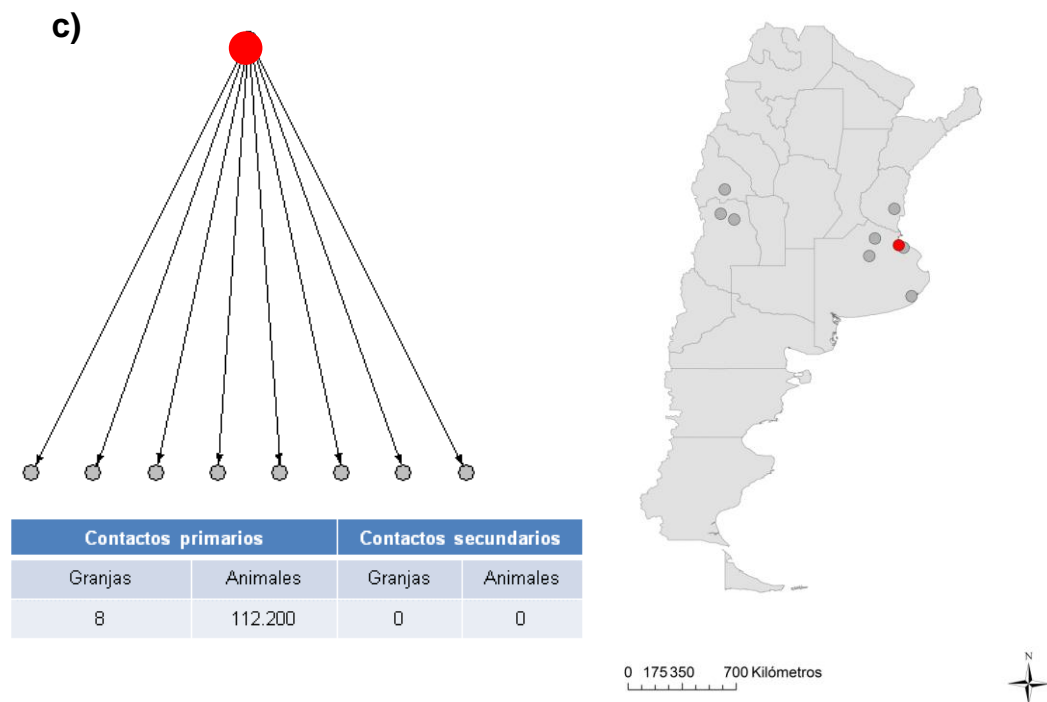


Figura 93. Escenario N° 3. Representación esquemática de la simulación una epidemia de 16 días de duración comenzando en el mes de abril (a), junio (b) y octubre(c). Se indican la cantidad de contactos primarios y secundarios de animales y granjas. El círculo rojo representa el caso índice y los círculos grises a los contactos. Fuente: Elaboración propia mediante el lenguaje R (R.2.15.1) de la librería EpiContactTrace y el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI).

### V-3.2. Análisis temporal de los contactos durante la simulación de una epidemia

En las figuras 94, 95, 96, 97, 98 y 99 se representan la cantidad de aves por día que son movilizadas durante la simulación de una epidemia de 16 días de duración para el escenario N°1 y N° 2.

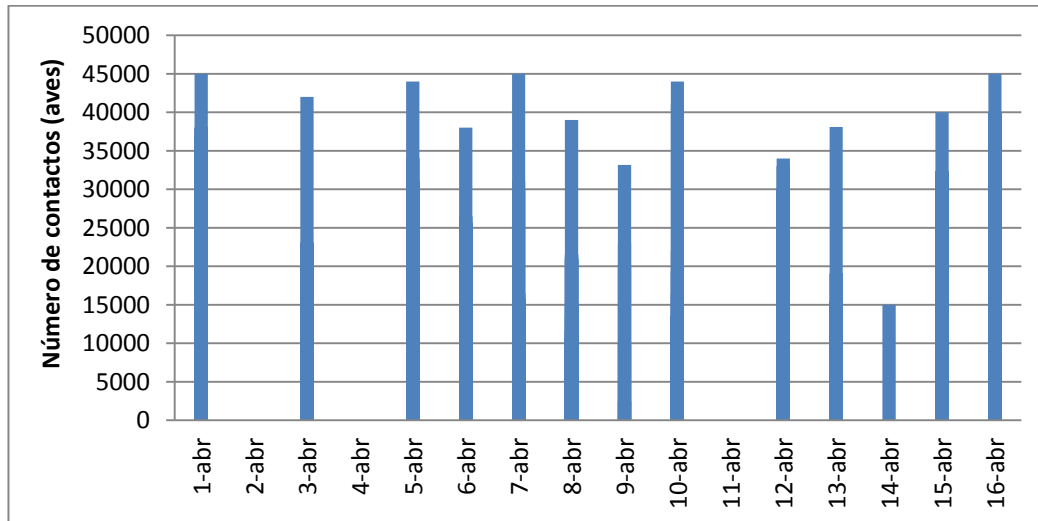


Figura 94. Escenario N° 1. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de abril. Elaboración propia.

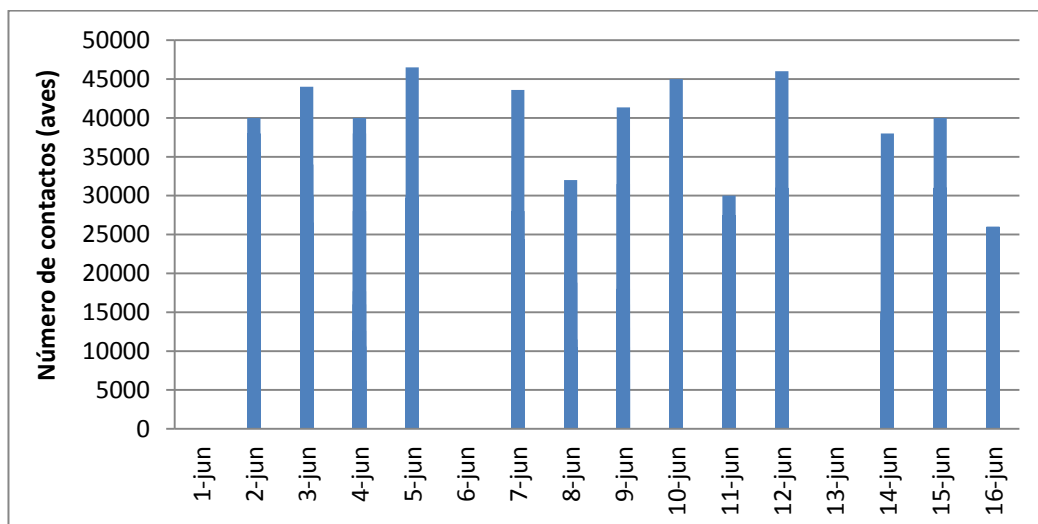


Figura 95. Escenario N° 1. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de junio. Elaboración propia.



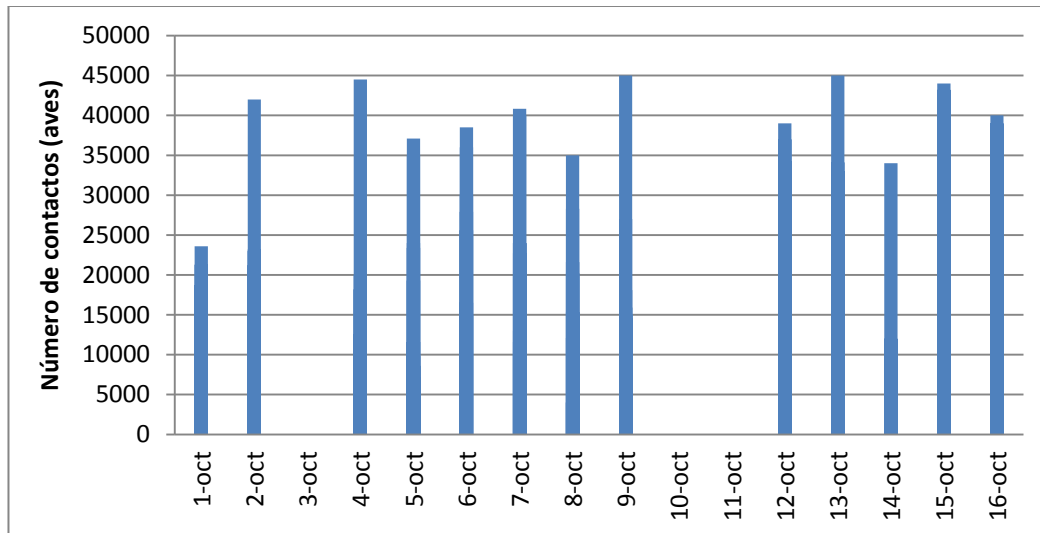


Figura 96. Escenario N° 1. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de octubre. Elaboración propia.

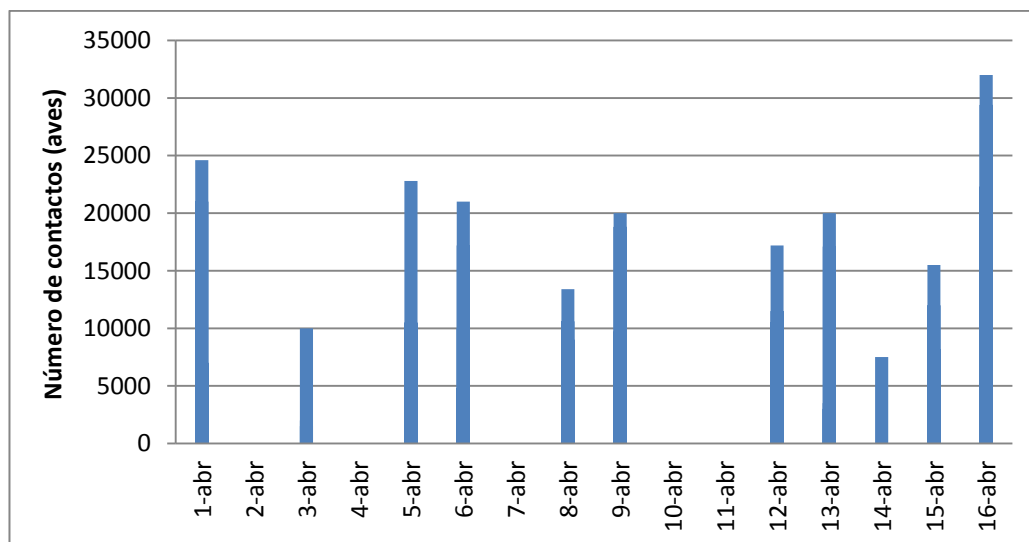


Figura 97. Escenario N° 2. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de abril. Elaboración propia.

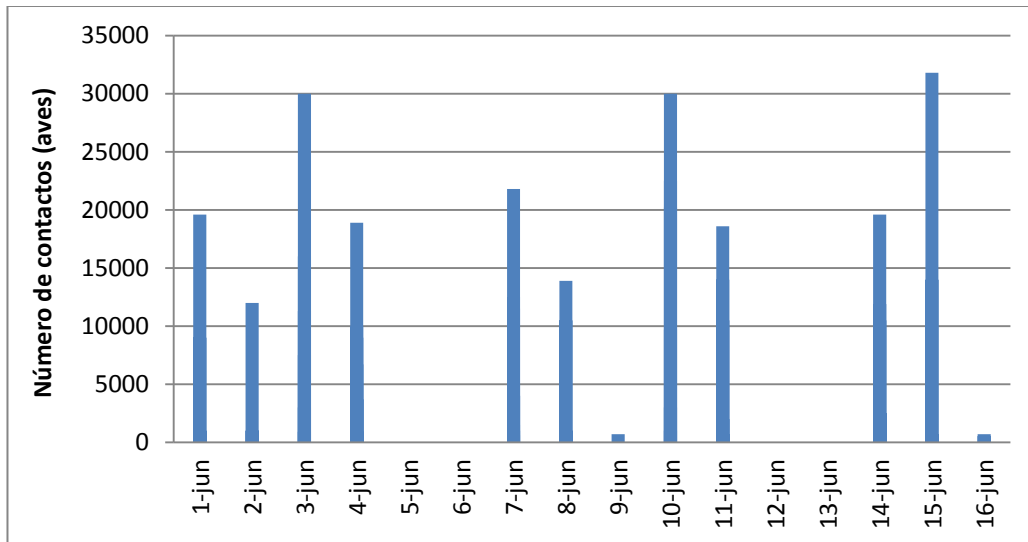


Figura 98. Escenario N° 2. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de junio. Elaboración propia.

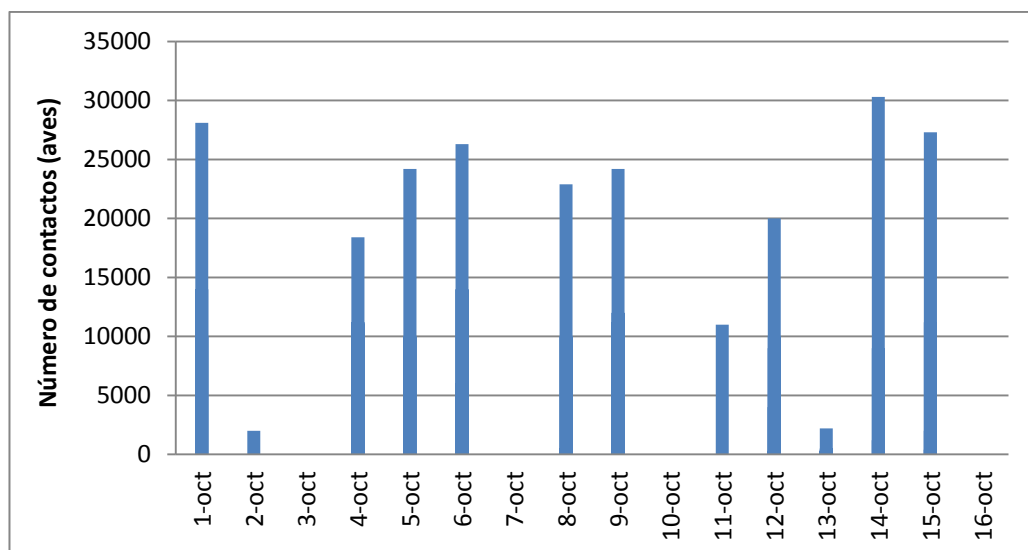


Figura 99. Escenario N° 2. Cantidad de contactos (aves) por día durante la simulación de una epidemia en el mes de octubre. Elaboración propia.

A continuación en la figura 100 y 101 se describen los resultados de la cantidad de explotaciones afectadas acumuladas a lo largo de los 16 días de una epidemia simulada para el escenario N° 1 y N° 2 en los meses de abril, junio y octubre.

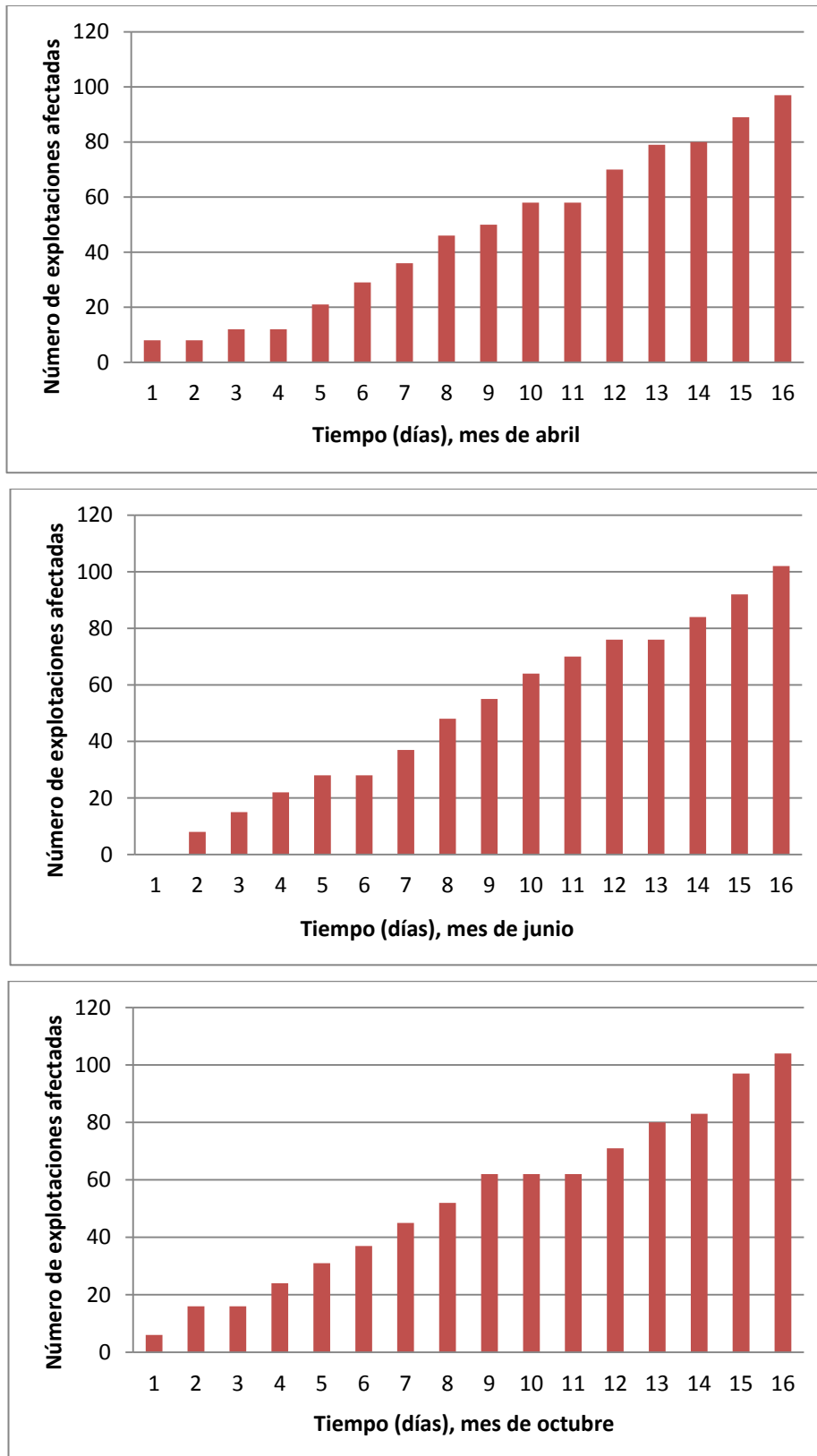
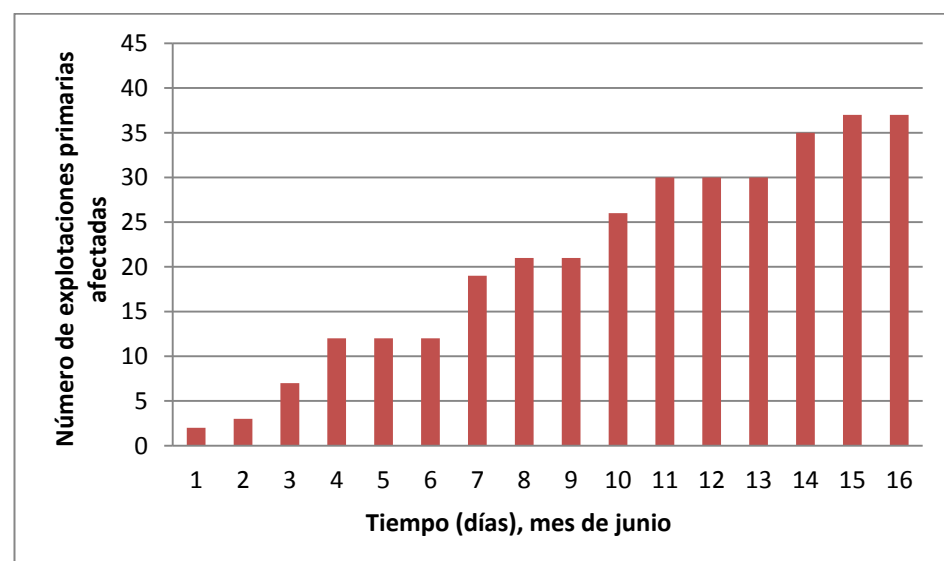
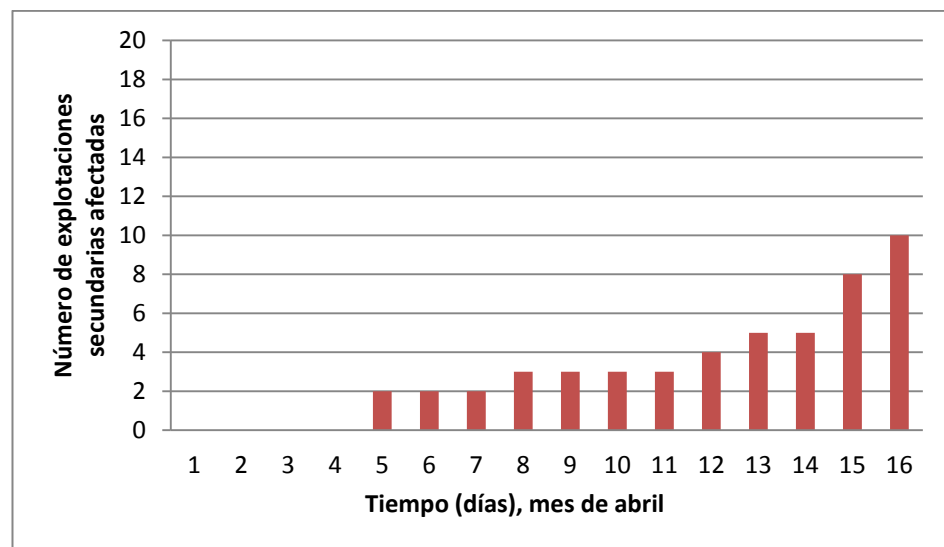
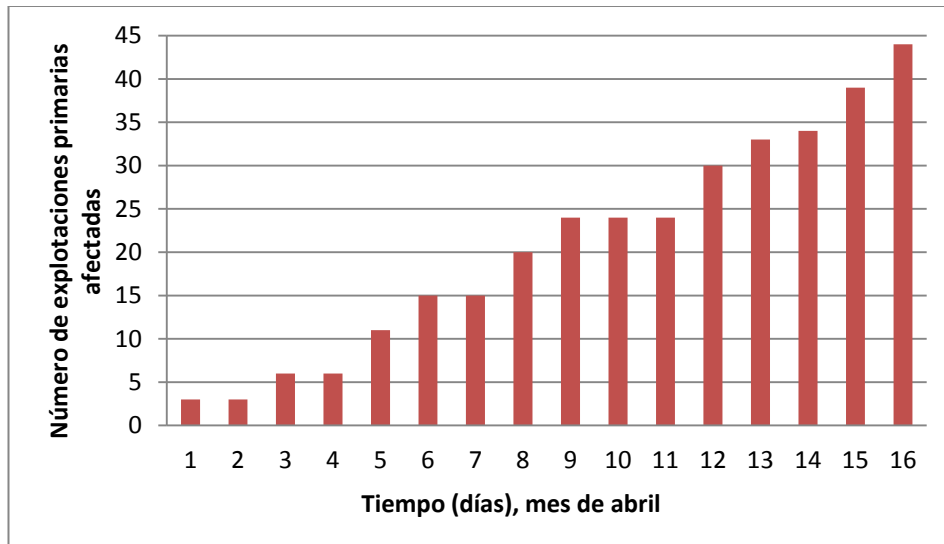


Figura 100. Escenario N° 1. Cantidad de explotaciones afectadas acumuladas, en días, durante una epidemia en los diferentes meses. Fuente: Elaboración propia



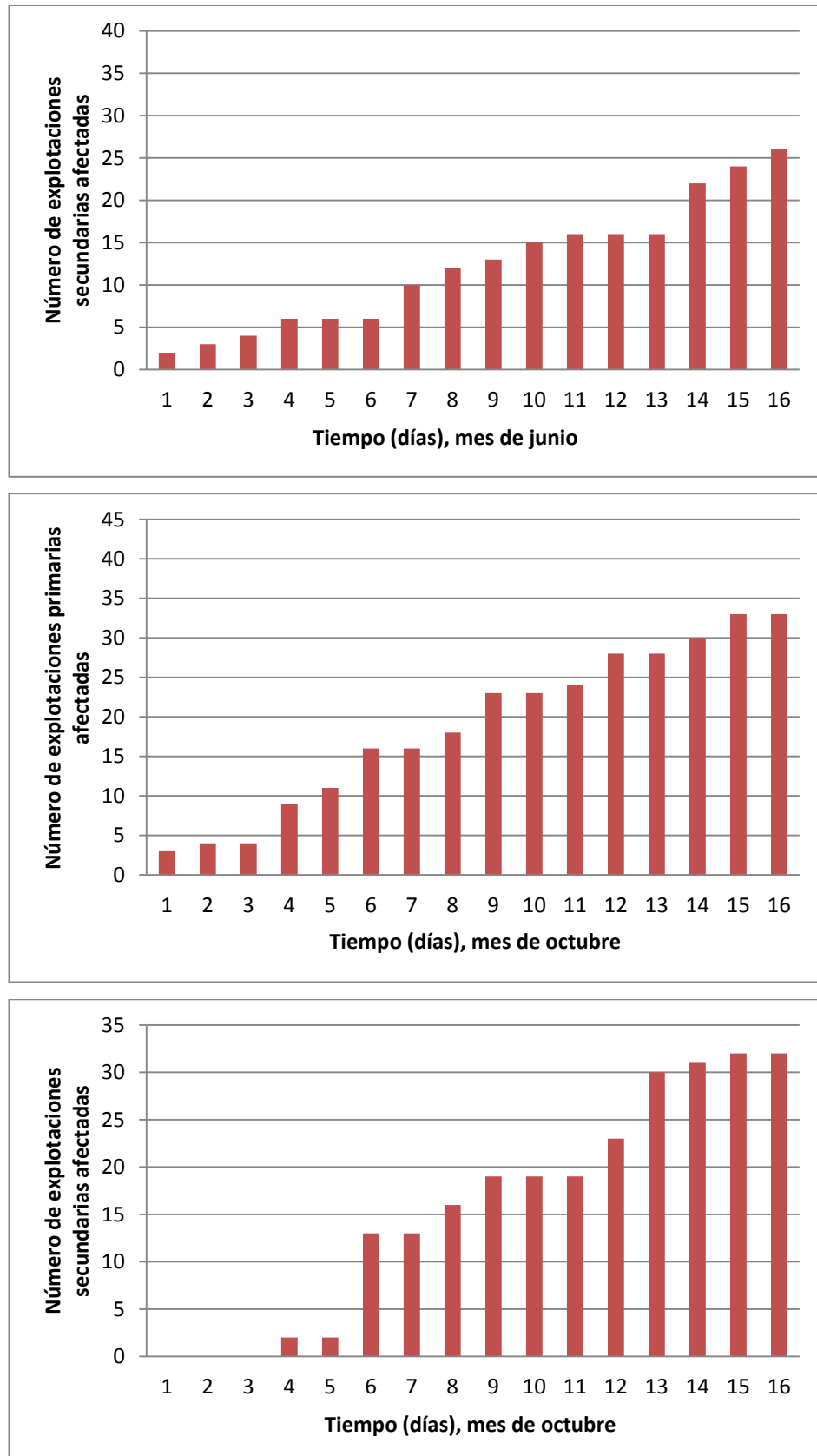


Figura 101. Escenario N° 2. Cantidad de explotaciones afectadas acumuladas primarias y secundarias, en días, durante una epidemia en los diferentes meses. Fuente: Elaboración propia

### V-3.3. Tamaño de una epidemia obtenido mediante el modelo SIR

Se obtuvieron resultados sobre el tamaño medio de una epidemia para el escenario N° 1 y N° 2. Para el escenario N° 1 el tamaño medio de una epidemia simulada para el VNC fue de 1.832.930 aves infectadas (desviación estándar de 135.041) de un total de 9.381.378 aves susceptibles (desviación estándar de 544.829).

Para el escenario N° 2 el tamaño medio de la epidemia fue de 353.697 aves infectadas (desviación estándar de 39.217) de un total de 3.010.352 aves susceptibles (desviación estándar de 146.275).

En la figura 102 se representa, a modo de ejemplo, la cantidad de animales infectados, eliminados y susceptibles en una granja durante la simulación de una epidemia del VNC de 16 días de duración realizada con el modelo de simulación SIR.

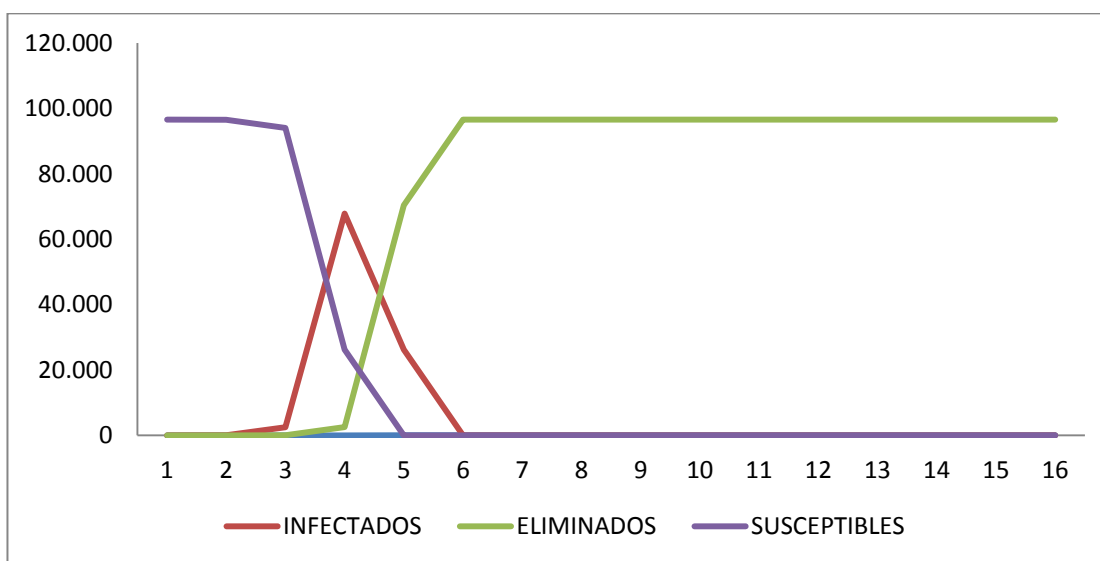


Figura 102. Ejemplo de los resultados obtenidos de una epidemia del VNC en una granja mediante el modelo de simulación SIR. Cantidad de infectados, susceptibles y eliminados.





## **VI. DISCUSIÓN**







## VI. DISCUSIÓN

El estudio presentado en esta tesis es el primer análisis de riesgo que permite evaluar, de forma semi-cuantitativa, la introducción potencial de la Enfermedad de Newcastle ajustándose a las condiciones y características propias del país y del sector avícola argentino. Igualmente, se presenta, por primera vez, un modelo de difusión potencial del VNC para la Rep. Argentina, basado en la red social de contactos entre explotaciones avícolas, que ha permitido evaluar la difusión potencial del virus y sus consecuencias en caso de una entrada en el país.

Teniendo en cuenta que el sector avícola en la Rep. Argentina es la segunda industria de producción de animales vivos después del ganado bovino, y que la ENC es considerada una de las enfermedades más importantes que afectan al sector avícola, creemos que el trabajo aquí presentado será de gran utilidad como herramienta de apoyo a la toma de decisiones tanto para minimizar el riesgo de introducción como para reducir el impacto sanitario y socio-económico en caso de futuras incursiones en el país.

Hay que destacar también que, hasta la fecha, existen muy pocos estudios publicados que evalúen el riesgo de introducción del VNC por productos/subproductos avícolas y por aves (EFSA, 2006; Biosecurity Australia, 2010; Berends et al., 2009; Sánchez-Vizcaíno, 2010; Sánchez-Vizcaíno et al., 2010), y, ninguno de ellos, había sido realizado específicamente para la Rep. Argentina. El análisis de riesgo semi-cuantitativo llevado a cabo en esta tesis nos ha permitido identificar las vías potenciales más importantes de ingreso del VNC hacia la Rep. Argentina así como también los países que suponen un mayor riesgo de entrada del virus. Una de las características importantes del estudio desarrollado radica en la calidad y detalle de los datos utilizados ya que en su mayoría fueron obtenidos a partir de base de datos completas y oficiales aportados por el Senasa, y datos provenientes de organismos internacionales como la FAO y la OIE. Los resultados obtenidos en el presente estudio pretenden minimizar el riesgo de entrada y difusión de la enfermedad en el país, minimizando las pérdidas tanto directas (pérdidas en la producción, sacrificio de los animales, control de la enfermedad, etc.) como las pérdidas indirectas relacionadas con el cierre de los mercados internacionales. Existen numerosos ejemplos de epidemias en otros países que han causado importantes pérdidas directas e indirectas. En los brotes de 2002 y 2003 en Estados Unidos, las pérdidas se estimaron en US\$280 millones, con un total de 3.21 millones de aves sacrificadas (Hietala et al., 2004). El modelo de análisis de riesgo desarrollado y los resultados derivados de los mismos permitirá al Servicio Sanitario Oficial



de la Rep. Argentina, Senasa, tomar decisiones fundamentadas en el riesgo permitiendo focalizar y optimizar los esfuerzos de prevención y difusión en las vías identificadas de mayor riesgo.

Igualmente, en el contexto de esta tesis se ha utilizado, por primera vez en la Rep. Argentina, el análisis de redes sociales para la caracterización de los patrones de movimientos entre las granjas avícolas comerciales. El análisis de redes es una técnica de reciente utilización en veterinaria pero de gran utilidad (Martínez-López et al., 2009), que nos permite identificar individuos clave dentro de la red comercial avícola para la introducción, mantenimiento y difusión de una enfermedad. Los resultados obtenidos tras el análisis de las redes comerciales avícolas en la Rep. Argentina podrán servir de apoyo al Servicio Sanitario Oficial para:

1. Establecer medidas de *vigilancia basadas en el riesgo*. La incorporación de los parámetros del análisis de redes en la selección de las granjas, por ejemplo para realizar muestreos dirigidos o establecer granjas centinela, puede incrementar la sensibilidad de la vigilancia, incrementando la capacidad de detección de agentes patógenos en relación con la vigilancia basada en muestreos aleatorios (Frossling, 2012). Además, esta metodología es particularmente interesante en aquellas enfermedades en aves donde los movimientos de animales constituyen la principal vía de entrada de enfermedades en las explotaciones, como es el caso del VNC y la Influenza aviar, y donde las bases de datos de movimientos se encuentren disponibles y son actualizadas periódicamente, como ocurre en la Rep. Argentina.
2. Mejorar los planes de contingencia de enfermedades aviares. El Plan de contingencia de la ENC del Senasa no se encuentra actualizado, la última actualización es del año 2000, en el plan no se incluyen ni se identifican las zonas consideradas de mayor riesgo en el país ni hay una descripción de los movimientos de las aves por lo que con la información aportada en esta tesis se podría optimizar y actualizar las medidas de control y erradicación ante un potencial ingreso del VNC.
3. Facilitar el uso de la zonificación y/o compartimentación, ya que permite identificar las redes comerciales o compartimentos que, en caso de incursión podrían verse comprometidas o, por el contrario, establecer sub-redes o sub-poblaciones comerciales para reducir el riesgo de difusión de una enfermedad, en caso de



entrada en el país. Además, los nodos dentro del compartimento pueden ser seleccionados selectivamente según su importancia relativa en la red, permitiendo focalizar los esfuerzos de muestreo, cuarentena o, incluso, sacrificio preventivo ante una epidemia.

Además, el modelo de difusión potencial del VNC basado en la red de contactos de aves comerciales, permitió evaluar la evolución potencial de una epidemia del VNC en la Rep. Argentina, como así también identificar zonas de mayor riesgo y cuantificar las posibles consecuencias sanitarias.

En definitiva, creemos que los resultados y metodologías obtenidos en este trabajo son de gran utilidad y aplicabilidad para una mejor prevención y control del VNC en la Rep. Argentina.

A continuación se discute en mayor detalle cada uno de los resultados obtenidos en el contexto de esta tesis.

#### **VI-1. DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS DEL RIESGO DE ENTRADA POTENCIAL DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA**

---

En el contexto del comercio internacional, el análisis de riesgo es un método fundamental y recomendado por la OIE que provee a los países importadores de una herramienta objetiva y transparente para la evaluación del riesgo de introducción de enfermedades asociado a las importaciones de animales, productos animales o productos biológicos, facilitando así la toma de decisiones (OMC, 1995; OIE, 2010b). En este estudio se optó por realizar un análisis de riesgo semi-cuantitativo debido a que no se contaba con toda la información epidemiológica necesaria para realizar un análisis cuantitativo. No obstante, es preciso remarcar que tanto los complejos estudios cuantitativos como los semi-cuantitativos o cualitativos son igualmente válidos y son aceptados por la OIE (Zepeda, 2002). El análisis semi-cuantitativo proporciona un nivel intermedio de información entre la evaluación textual del análisis cualitativo y la evaluación numérica del análisis cuantitativo. Las etapas evaluadas en este estudio se centraron concretamente en la identificación del peligro y la evaluación del riesgo (que comprendió a su vez a la evaluación de la liberación, exposición y la estimación del riesgo total). La evaluación de las consecuencias biológicas, fueron cuantificadas, más en detalle, mediante el modelo de difusión (sección V-3).



El comercio de animales y de productos/subproductos avícolas por parte de la Rep. Argentina debe realizarse en forma segura desde países libres de la ENC. Sin embargo el problema surge cuando un país libre se infecta con el VNC y hasta que se detecta la enfermedad en el país de origen las fronteras seguirán abiertas, el comercio continuará y el país exportador podría seguir enviando aves infectadas. El período de incubación de las aves establecido por el Código Terrestre de la OIE es de 21 días (OIE, 2012b), por lo tanto, podría considerarse la posibilidad que durante 21 días las aves infectadas no presenten signos clínicos y que éstas no fuesen detectadas.

Las vías de entrada del VNC como se dijo anteriormente han sido muy diversas a lo largo de la historia, incluyendo la entrada a través de las migraciones de aves silvestres, transmisión mecánica asociada al movimiento de personas y objetos contaminados; a través del viento, debido a fallos vacunales, etc. (Wobeser et al., 1993; Alexander, 1995; Alexander et al., 1998; Seal et al., 1998; Capua et al., 2002; Aldous et al., 2007; Bogoyavlenskiy et al., 2009). Sin embargo, las vías más importantes de introducción del VNC consideradas por muchos autores a lo largo de los años ha sido por el ingreso de aves vivas y por productos/subproductos de origen aviar (Gordon et al., 1948; Grausgruber y Möslinger, 1965; Grausgruber, 1973; Wobeser et al., 1993; Capua et al., 1994; Alexander, 1995; Geering, et al., 1995; Alexander et al., 1998; Jørgensen et al., 1999; Aldous et al., 2007; OIE, 2007; Aldous y Alexander, 2008; Bogoyavlenskiy et al., 2009). En este estudio las vías de introducción potencial del VNC en la Rep. Argentina seleccionadas para su análisis fueron el volumen de productos y subproductos avícolas, volumen de aves vivas y huevos fértiles importados. Otras vías de introducción del VNC que podrían considerarse de importancia no fueron evaluadas en este estudio debido a que no se contaba con la información suficiente. Por ejemplo, la vía de introducción por migración de aves silvestres no pudo ser evaluada debido a que no se contaba con estimaciones del volumen de aves silvestres susceptibles al VNC que llegan a la Rep. Argentina ni del origen o países transitados previamente por las mismas. Esta vía sería interesante que pudiese ser evaluada en un futuro ya que, en otros países, numerosos brotes de VNC en granjas estuvieron asociados a la migración de aves silvestres (MacPherson, 1956; Lancaster, 1977; Wobeser et al., 1993; Jørgensen et al., 1999). Además, las aves silvestres pueden ser reservorios de VNC de baja patogenicidad para pollos y se consideran como una fuente de infección y difusión potencial del virus durante los brotes en granjas comerciales (Spickler et al., 2008). Otros análisis de riesgo que evalúan esta vía de aves migratorias en otros países presentan resultados dispares. El análisis de riesgo llevado a cabo en Australia, indicó que el riesgo de introducción del VNC a través de las



aves silvestres era alto (Biosecurity Australia, 2010). Sin embargo, un estudio llevado a cabo por Sánchez-Vizcaíno, 2010 indicó que el riesgo de introducción del VNC por aves migratorias en España era relativamente bajo, aunque la incertidumbre asociada a dicha vía era alta. Además, en caso de que se produzca un brote en la Rep. Argentina solo en aves silvestres es muy probable que su detección no sea tan rápida como la detección en las aves comerciales, pudiendo producir mayor número de infecciones secundarias ya dentro del país.

Las importaciones ilegales de aves domésticas, exóticas y de productos/subproductos avícolas tampoco pudieron ser evaluadas debido a la falta de información. Sin embargo, podría hacerse una estimación del riesgo asociado a esta vía en caso de disponer de datos sobre los decomisos en frontera (tipo de producto, origen y cantidad). Esta vía fue causa de ingreso del VNC en países como en Estados Unidos en 1991 (Panigrahy et al., 1993) y 2002 (Nolen, 2002; Nolen, 2003). El tráfico desde países vecinos está fuertemente influenciado por la diferencia en los precios a ambos lados de la frontera. Cuando las aves y los productos avícolas son más caros en la Rep. Argentina que en los países limítrofes puede incrementarse la entrada ilegal de aves o productos. La Rep. Argentina tiene controles adecuados en los puertos de entrada para el comercio legal de importación de aves vivas y de subproductos avícolas (Análisis de riesgo de EEUU, 2004). Sin embargo, el ingreso de otras enfermedades que afectaron al ganado doméstico, como la fiebre aftosa, fue asociado a la importación ilegal de animales a través de las fronteras, por lo que el flujo de aves ilegales también puede ocurrir. Un estudio realizado para evaluar el riesgo de ingreso del virus de la Influenza aviar en la Rep. Argentina mostró que el mayor riesgo está asociado a esta vía (IICA-Senasa, 2010), pero hasta la fecha no existen estudios que evalúen el riesgo de entrada para la ENC por esta vía. Resultados similares fueron obtenidos para España (Sánchez-Vizcaíno et al., 2010).

Además, el ingreso potencial del VNC por otras especies no aviares no fue considerado en este estudio debido a que no son epidemiológicamente importantes en la introducción de la enfermedad (Biosecurity Australia, 2010). Hasta la fecha, no existen publicaciones que indiquen la importancia epidemiológica de otras especies que no sean aves como fuente de introducción y difusión de la enfermedad.

Para evaluar la liberación de las vías de ingreso potenciales analizadas se utilizaron cuatro parámetros, la prevalencia del VNC y la población de aves del país de procedencia del material de riesgo; la supervivencia del virus en el material de riesgo y el volumen de



material de riesgo introducido. Los tres parámetros utilizados para la evaluación de la exposición fueron, el tipo de contacto, capacidad infectiva del material y el riesgo asociado a la probabilidad de contacto. Estos parámetros se consideraron los adecuados dadas las características de la enfermedad y la información disponible. En la evaluación de la liberación y la exposición podrían haber sido considerados otros parámetros que fueron tenidos en cuenta en otros estudios como son la densidad de explotaciones de aves domésticas en origen y destino; patotipo de virus presente en origen; densidad de la población avícola; abundancia de aves silvestres en origen; capacidad de supervivencia del virus y nivel de bioseguridad de las explotaciones avícolas en origen y destino.

Hay también que considerar que la exposición del material de riesgo analizado solo pudo evaluarse para la Rep. Argentina en su conjunto, no se pudo evaluar la exposición por provincia ya que no se dispone de la información del destino final (provincia) de las importaciones, sólo con la información de la frontera de ingreso a la Rep. Argentina del material de riesgo importado. Tampoco la población de aves de traspatio (o producción familiar) fue incorporada en el análisis de riesgo ya que no participa en el flujo comercial de importaciones, se estima que la población avícola de traspatio totaliza un poco mas de 4 millones de aves, y los datos sobre este tipo de poblaciones son escasos (IICA-Senasa, 2010).

A pesar de las limitaciones y supuestos anteriores, creemos que los resultados obtenidos en este trabajo permiten detectar los puntos críticos en la introducción del VNC a la Rep. Argentina, y determinar también las necesidades y posibilidades que existen para desarrollar análisis más complejos para cuantificar el riesgo de entrada del VNC a la Rep. Argentina. Además, se evaluó la incertidumbre y la variabilidad asociada a cada una de las vías de ingreso identificadas y a cada uno de los pasos del análisis de riesgo. Esto nos permite identificar lagunas de conocimiento que, en el caso de solventarse, podrían mejorar la estimación del riesgo.

Para describir y visualizar los resultados en una forma clara se han realizado mapas con el programa informático ArcGIS versión 9.3 (ESRI), estos mapas son fácilmente interpretables asignando una escalera de colores en función de los valores obtenidos.

Una de las principales limitantes de los modelos de análisis de riesgo radica en la disponibilidad de la información, precisión y calidad de los datos utilizados. Sin embargo la información utilizada en nuestro modelo ha sido de muy buena calidad, como se dijo



anteriormente fue obtenida a partir de bases de datos oficiales (Senasa, OIE, FAO) y de publicaciones científicas. Una mejora del análisis de riesgo llevado a cabo puede ser la incorporación de opiniones de expertos para la elección de los parámetros y como apoyo en las estimaciones con gran incertidumbre asociada.

A continuación se discuten los principales resultados obtenidos del análisis de riesgo de introducción del VNC a la Rep. Argentina para cada una de las vías de ingreso analizadas:

#### **VI-1.1. Volumen de productos/subproductos avícolas importados**

El comercio de subproductos avícolas es considerado como una de las vías internacionales de introducción del VNC, y numerosos brotes fueron asociados a esta vía (Gordon et al., 1948; Reid, 1961; Grausgruber y Möslinger, 1965; Grausgruber, 1973; Geering, et al., 1995; Biosecurity Australia, 2010), sin embargo los resultados obtenidos en este estudio sobre el riesgo relativo total para todos los productos/subproductos fueron bajos o insignificantes. Estos resultados fueron congruentes con estudios previos donde indicaron que el riesgo relativo de introducción del VNC en España por importación de productos cárnicos avícolas resultó ser muy bajo (Sánchez-Vizcaíno, 2010) e insignificante para carne aviar y ovoproductos (Iglesias et al., 2008). Es necesario considerar que estos resultados fueron obtenidos en estudios realizados para España, cuyas relaciones comerciales no son las mismas que para la Rep. Argentina. Además, hay que tener en cuenta que los métodos modernos y la legislación vigente sobre la prohibición de alimentar a aves con desperdicios animales no tratados reducen el riesgo.

El riesgo relativo de liberación del VNC en los productos y subproductos fue alto para los huevos y derivados y para las harinas animales. Estos resultados se deben principalmente a una alta prevalencia de la infección del VNC de los países desde donde dicho material es importado. No obstante, la probabilidad real de contacto entre estos subproductos y un animal susceptible es muy baja debido a que el destino final es el uso o consumo humano, y excepcionalmente llegarían a contactar con animales susceptibles.

El riesgo relativo de exposición asociado a fiambres y chacinados, harinas animales, otros subproductos comestibles, huevos y derivados, plumas y opoterápicos fue insignificante. Igualmente, la probabilidad de contacto de este tipo de productos en aves es prácticamente nula ya que su destino final es el uso humano y excepcionalmente podrían contactar con las aves susceptibles. Cabe destacar que la alimentación de animales con





desperdicios avícolas se encuentra prohibido por el Senasa por lo que el contacto de los productos/subproductos avícolas con las aves domésticas, y posterior transmisión, es poco probable que se produzca.

### VI-1.2. Volumen de aves vivas importadas

El riesgo relativo total en palomas resultó alto en este trabajo. La transmisión de palomas a las aves domésticas fue descrita en numerosas epidemias, como en las epidemias de Italia (2000, 2003), Dinamarca (2002), Grecia (2005, 2007), Francia (2005), Reino Unido (2005) y Eslovaquia (2007) (Capua et al., 2002; Aldous et al., 2007; EFSA, 2007; OIE, 2007; Aldous y Alexander, 2008), y anteriormente en los años 80 en otros países de Europa, Japón, Israel y Estados Unidos (Alexander et al., 1984, Alexander et al., 1985). La importancia de las palomas silvestres en la introducción del VNC fue demostrada en el análisis de riesgo cualitativo llevado a cabo en España (Iglesias et. al., 2008b). Sin embargo, hay que remarcar que las condiciones epidemiológicas de la Rep. Argentina no son las mismas que para España. La vacunación contra la enfermedad de Newcastle en todas las palomas mensajeras es obligatoria en la Rep. Argentina por la Resolución N° 723/00 de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos por lo que esto reduciría la difusión de un potencial brote de VNC en las palomas del país.

Los pollos son altamente susceptibles a la enfermedad de NC según los estudios realizados tanto a nivel experimental como a campo (Gilchrist, 2005; Wakamatsu et al., 2006) por lo que el resultado obtenido en el presente estudio de riesgo relativo total alto en estas especies tiene que ser considerado por parte del Servicio Sanitario Oficial de la Rep. Argentina como una vía de ingreso potencial importante. Estos resultados obtenidos se deben principalmente a la combinación del riesgo de liberación dado por el alto volumen de pollos importados (4.885.621) en el período en estudio, y debido al riesgo de exposición alto que tienen estas especies. Los países que representan un mayor riesgo asociado a esta vía fueron Estados Unidos y Brasil. Estos resultados se deben al alto número de importaciones procedentes de dichos países, y a la cantidad de brotes notificados. Sin embargo, resultados de riesgo bajo fueron obtenidos en la evaluación de riesgo de introducción de Influenza aviar de alta patogenicidad (IAAP) y de baja patogenicidad (IABP) a través del comercio legal en la Rep. Argentina. Esto se debió a una combinación de factores, principalmente relacionados con la baja probabilidad de que se exporten animales infectados y también a los controles efectuados en destino (IICA-Senasa, 2010). Además, los datos obtenidos en el análisis de los movimientos de las granjas de pollos



comerciales por tipo de bioseguridad (sección V-2.2.6), indican que más del 75% de las granjas que realizan movimientos de entrada tienen un nivel de bioseguridad A y B. Estos datos corresponden a las granjas comerciales de las dos provincias con mayores porcentajes de movimientos (Buenos Aires y Entre Ríos), lo cual nos indica que, a pesar que el riesgo relativo de los pollos sea alto, el 75% de las granjas avícolas de la Rep. Argentina que realizan movimientos (ingresos y egresos) cuentan con niveles de bioseguridad adecuados, lo que minimiza el riesgo de introducción del virus. Esto coincide con resultados previos del estudio de IAAP e IABP en la Rep. Argentina, donde el nivel de la bioseguridad de las granjas comerciales influyó notablemente en el riesgo de ingreso de dichos virus (IICA-Senasa, 2010).

Los patos son importantes en la epidemiología de la ENC ya que son considerados potenciales reservorios del VNC (Collins et al., 1993; Takakuwa et al., 1998; Shengqing et al., 2002; Kim et al., 2007) y son capaces de albergar el virus y actuar como diseminadores (Vickers y Hanson, 1982; Takakuwa et al., 1998; Kaleta y Baldauf, 1988; Roy et al., 2000; Stanislawek et al., 2002; Tsai et al., 2004; Hanson et al., 2005; Gilchhrist, 2006; Liu et al., 2007; Yoon Kim, 2012). Los patos y pavos en el presente estudio tuvieron un riesgo relativo total medio, sin embargo, hay que considerar que la producción de pavos y patos en la Rep. Argentina representa menos del 1% del total de aves comerciales de la Rep. Argentina, y que la importancia que tienen en el comercio no es significativa debido a que este tipo de explotaciones no son industriales. La escasa población de estas especies constituye una ventaja sanitaria también para otras enfermedades como la influenza aviar (IICA-Senasa, 2010). Este resultado contrasta con otros de otros países como España, donde el riesgo de introducción del VNC por el comercio de aves estuvo concentrado en los patos (Sánchez-Vizcaíno et al., 2010).

Igualmente, las psitácidas tuvieron un riesgo relativo total medio. El riesgo relativo que tienen las psitácidas se ve influenciado principalmente por la alta capacidad infectiva que tienen estas especies y al riesgo asociado a la probabilidad de contacto. La importancia epidemiológica que tienen las psitácidas en la introducción del VNC es debida a que pueden excretar el virus intermitentemente por períodos extremadamente largos, que en algunos casos pueden llegar a ser más de un año (Erickson et al., 1977). No obstante, las aves no comerciales, incluidas las aves ornamentales y las psitácidas, tienen que realizar una cuarentena después de la importación en la Rep. Argentina en lugares aprobados por el Senasa, además de ser muestreados para el VNC y otras enfermedades (Análisis de riesgo de EEUU, 2004). A pesar de tener un riesgo relativo total medio y del elevado



volumen de importaciones introducido de estas aves, la cuarentena disminuye considerablemente el riesgo.

Valores insignificantes de riesgo relativo total fueron obtenidos para las aves ornamentales, sin embargo, la incertidumbre asociada a este grupo de aves fue alta. Los registros de importaciones aportados por el Senasa no especifican el tipo de aves cuando se registran como aves ornamentales por lo que esta categorización resulta muy amplia, siendo una de las causas por lo que la incertidumbre asociada a este tipo de material, tanto para la liberación como para la exposición, fue alta. A pesar de esto, lo que si se pudo evaluar es que el destino final de muchas de las importaciones de aves ornamentales registradas son los parques zoológicos, por lo que este tipo de animales son controlados y están continuamente bajo supervisión veterinaria, además de no tener un contacto directo con las aves comerciales.

El país que representa un mayor riesgo relativo de liberación hacia la Rep. Argentina cuando se realizó un análisis de las aves vivas es su conjunto fue Estados Unidos. Este resultado se debió en parte a la combinación del elevado número de aves vivas que la Rep. Argentina importa desde Estados Unidos y a los brotes del VNC registrados en ese país en los últimos años analizados. Sin embargo, a pesar de esto la Rep. Argentina solo importa aves cuando el país de origen es considerado por la OIE libre del VNC.

### **VI-1.3. Volumen de huevos fértiles importados**

El riesgo relativo total asociado a huevos fértiles fue bajo con un nivel de incertidumbre media. Este resultado coincide con estudios previos, donde el riesgo relativo de introducción por comercio legal de huevos para incubar fue muy bajo (Sánchez-Vizcaíno, 2010). Hasta la fecha no existen estudios publicados que hayan asociado a los huevos fértiles como causa de introducción de la enfermedad. Estudios epidemiológicos de brotes de NC en Taipei, China, entre el 1998 y el 2000 sugirieron que la transmisión vertical jugó un papel en la difusión de la enfermedad (Chen y Wang, 2002), sin embargo, la mayoría de los autores no lo consideran como un modo importante de difusión (Alexander, 2000). El VNC fue aislado de huevos fértiles de padres que estaban vacunados (Capua et al., 1993), por lo que no puede descartarse como una posible vía de ingreso de la enfermedad, a pesar que la transmisión del VNC por esta vía está en controversia (Alexander, 1997). El riesgo bajo obtenido en este estudio se debe en parte a que las importaciones provienen de países donde no se han producido brotes recientes de VNC y a la dificultad que tiene



este material de contactar con las aves comerciales. La dificultad del virus de contactar con aves comerciales se debe a que los huevos fértiles, al igual que para los pollitos de un día, tienen que realizar una cuarentena en destino, además de ser muestreados (Resolución Senasa, 221/1995). Estos procedimientos implican una reducción en el riesgo en caso que se importen a la Rep. Argentina huevos fértiles infectados con el VNC. Además, se asume que los países exportadores cumplen con las normas recomendadas en el Capítulo 10.9.8 de la OIE, estas normas recomiendan que los huevos fértiles deben provenir de padres que estuvieron al menos 21 días en granjas libres de la enfermedad antes de la colecta de los huevos (OIE, 2012b). Igualmente, los huevos fértiles son descontaminados antes de ser introducidos en las incubadoras y las medidas de bioseguridad que tienen las granjas avícolas de incubación de la Rep. Argentina son elevadas.



## **VI-2. DISCUSIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y PATRONES DE CONTACTOS DEL SECTOR AVÍCOLA EN LA REP. ARGENTINA**

---

Como se dijo anteriormente, los movimientos de animales/aves son considerados como la principal ruta de transmisión de las enfermedades infecciosas (Elber et al., 1999; Ferguson et al., 2001; Kao, 2002; Ortiz-Pelaez et al., 2006; Kiss et al., 2006; Kiss et al., 2006b), por lo que la caracterización de los patrones de movimientos de las aves comerciales en la Rep. Argentina, aporta valiosa información para la prevención y control de futuras epidemias, no sólo de la ENC sino de otras enfermedades aviares.

El análisis de redes ha sido empleado escasamente para la caracterización de los patrones de movimientos entre explotaciones avícolas. En otros países sí que se ha empleado de forma más notable para analizar y caracterizar movimientos de animales (equinos, ovinos, bovinos, cerdos, aves, peces), para modelizar la difusión de las infecciones y para entender mejor el comportamiento de epidemias pasadas (Christley y French, 2003; Corner et al., 2003; Christley et al., 2005; Webb, 2005; Shirley y Rushton, 2005; Kao et al., 2006; Kiss et al., 2006; Kiss et al., 2006b; Leon et al., 2006; Ortiz-Pelaez et al., 2006; Bigras-Poulin et al., 2006; Bigras-Poulin et al., 2007; Robinson y Christely, 2007; Dent et al., 2008; Green et al., 2009; Aznar, 2011; Nöremark et al., 2011). No obstante, este es el primer estudio que caracteriza el patrón de movimientos del sector avícola en la Rep. Argentina, y también es el primero que se realiza en un país Sudamericano.

Es importante tener en cuenta que los animales infectados pueden moverse antes de desarrollar síntomas clínicos, pudiendo pasar desapercibidos y ser considerados como animales sanos. De hecho, el período de incubación en las aves de corral de la ENC es de 2 a 15 días, o incluso de 21 días según indica el Código Terrestre de la OIE (OIE, 2012b), por lo que los animales infectados que se muevan en dicho período poseen un riesgo importante en la transmisión de la infección. Por ello, es de gran utilidad que previamente se identifiquen las redes comerciales y se caractericen los patrones de movimientos entre explotaciones aviares. Este tipo de estudios no permiten, en caso de brotes, identificar potenciales fuentes de infección o evaluar granjas donde es posible que se haya introducido también la enfermedad. Además, la identificación de granjas “clave” en la red nos permite incorporar programas de vigilancia dirigidos y sistemas de alerta y actuación temprana ante potenciales brotes.



Los datos utilizados en este análisis corresponden a los movimientos directos de aves entre granjas comerciales. Se utilizaron registros completos de los años 2009 y 2010 aportados por el Senasa. La disponibilidad de datos de dos años consecutivos ha permitido evaluar las variaciones interanuales del comercio nacional de aves, lo cual tampoco ha sido descrito hasta la fecha y es de gran utilidad para medir la permutación de los patrones comerciales.

En general, se observa que los movimientos salientes están más concentrados que los movimientos entrantes, lo que significa que hay pocas granjas que envían aves hacia muchas granjas. Estas granjas podrían actuar como “superdifusoras” de la enfermedad en caso que ingrese una enfermedad aviar a la Rep. Argentina y, por tanto, son candidatos ideales para los programas de vigilancia o control basados en riesgo.

Analizando las granjas por tipo de producción que realizan movimientos de envío se observó que un 87% de las granjas de incubación lo hacen en el 2009 y también en el 2010. De las granjas que realizan movimientos de recepción, se observó que un 75% de las granjas dedicadas a la producción de carne y huevos lo hacen en ambos años. Estos resultados nos indican que los flujos comerciales de las granjas en estos dos tipos de producción son bastante estables a lo largo de los años estudiados. En relación al análisis temporal de los movimientos de aves comerciales se observó que no existe una variación temporal de los movimientos de entrada ni de salida; ni tampoco de la cantidad de aves movilizadas. Al no existir estacionalidad en los movimientos la vigilancia no podrá estar dirigida a ciertas épocas del año, como sería deseable, ya que no se detectan épocas de mayor riesgo para poder establecer una vigilancia dirigida.

En este estudio no se analizaron los movimientos de aves de granjas a mercados (exposiciones de aves) debido a que no se contó con la información disponible para su análisis. Sin embargo, sería interesante en estudios futuros poder analizar estos movimientos, ya que los mercados de aves podrían actuar como “superdifusores” de enfermedades aviares, como se observó en estudios previos para otras especies como por ejemplo los bovinos (Ortiz –Pelaez et al., 2006; Robinson y Christely, 2007; Martínez López, 2009). Los movimientos de aves de granjas a mataderos fueron excluidos de este estudio debido a que no se consideraron movimientos epidemiológicamente importantes en la difusión potencial de VNC ya que uno de los objetivos de nuestro estudio fue evaluar la difusión del VNC por contacto directo de aves entre granjas.



De los resultados obtenidos en el análisis espacial de los movimientos se observa que la distancia media recorrida de los movimientos fue de 210 km en el 2009 y 198 km en el 2010 (Figura 72). Es importante aclarar que la distancia obtenida en este estudio no es la distancia real de los movimientos sino la distancia euclídea. No obstante, este dato nos sirve para estimar las distancias aproximadas recorridas por cada movimiento. Otro aspecto importante es que no se contó con la información del tipo de transporte utilizado en cada movimiento. Este dato podría ser interesante para determinar los recorridos exactos que realizan los camiones entre las granjas. Los datos que se obtienen en este estudio sobre las distancias recorridas nos dan información importante para poder establecer zonas apropiadas de vigilancia y control que podrán ser aplicadas durante un brote, y para realizar modelos de simulación en la difusión de enfermedades que afecten a granjas avícolas (Dubé et al., 2007). Hasta la fecha no hay ningún estudio que describa las distancias recorridas de los movimientos de aves en la Rep. Argentina, por lo que no fue posible comparar los resultados obtenidos. Sin embargo, estudios previos similares fueron realizados para el país en otras especies como los bovinos (León et al., 2006; Aznar et al., 2011).

Las provincias con el mayor número de movimientos de entradas y salidas fueron Entre Ríos y Buenos Aires, representando alrededor del 70% del total de los movimientos del país para los años 2009 y 2010. Estos resultados coinciden con la distribución de las granjas avícolas del país, ya que más del 80% de las granjas comerciales del país se encuentran ubicadas en estas dos provincias (Figura 61). Hay que tener en cuenta que los dos últimos brotes del VNC ocurridos en granjas comerciales en la Rep. Argentina corresponde a las dos provincias identificadas con mayores flujos de movimientos tanto de entrada como de salida (Buenos Aires y Entre Ríos), lo que podría indicar que los movimientos de aves comerciales, como se describió anteriormente, son importantes en la difusión del virus.

Para el año 2009, los diez nodos más importantes concentraron el 7,6% de los movimientos recibidos y el 31% de los movimientos enviados, mientras que para el año 2010 la recepción del 5,6% de los movimientos de aves se concentró en diez vértices y los movimientos enviados concentraron el 31,4%, y están representados en las figuras 73 y 74. Identificar los nodos con mayores valores de degree (egresos e ingresos) resulta sumamente importante para poder establecer medidas de vigilancia preventiva y de control ya que estos nodos tienen más posibilidad de recibir y transmitir alguna enfermedad aviar en caso que se produzca el ingreso (Vallée et al., 2012). Los valores de degree de una red



de movimientos de animales pueden determinar la difusión potencial de enfermedades durante una epidemia (Van Kerkhove et al., 2009). Para una detección temprana de la enfermedad puede realizarse una vigilancia basada en el análisis de riesgo (Stärk et al., 2006). Este tipo de vigilancia es la que se podría llevar a cabo en base a los resultados obtenidos, la vigilancia en este caso puede estar orientada a aquellos establecimientos identificados con altos valores de in-closeness o in-degree.

En las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos, para el año 2009 y 2010, más del 70% de las granjas que realizan movimientos (in-degree y out-degree) son granjas con un nivel de bioseguridad A y B como se observa en las figuras 87 y 88. Esto nos indica que las granjas de la Rep. Argentina que intervienen en la red de movimientos cuentan con niveles altos de bioseguridad, lo que minimiza el riesgo de introducción y difusión de las enfermedades. Una correcta bioseguridad puede prevenir la ENC en granjas avícolas minimizando el contacto potencial con aves domésticas con estatus sanitarios desconocidos, como cualquier ave de compañía (particularmente psitácidas), aves silvestres (particularmente gaviotas y palomas). Un estudio realizado para la Rep. Argentina reveló que las granjas con niveles de bioseguridad deficientes o regulares tienen más probabilidades de ocurrencia de infección de otras enfermedades como por ejemplo, el virus de la IAAP (IICA-Senasa, 2010).

Sin embargo, cuando se analizan los movimientos de las granjas por tipo de producción de toda la Rep. Argentina se observa que para el año 2009 y 2010 los mayores valores de in-degree se producen en las granjas de producción de carne y los mayores valores de out-degree en las plantas de incubación. Valores altos de out-degree, como los que se obtuvieron en las plantas de incubación, son importantes en la difusión de la enfermedad en caso que se produzca su introducción, programas de vigilancia basados en el riesgo tendrían que estar dirigidos a los establecimientos con estas características (Lockhart, 2010). En cambio, valores altos de in-degree suponen un riesgo alto en la introducción de la enfermedad en las granjas dedicadas a la producción de carne.

Los mayores valores de in-closeness y out-closeness se producen en granjas dedicadas a la producción de carne. Los valores de centralidad de cercanía son buenos indicadores de probabilidades de una infección (Bell et al., 1999; Ghani y Garnett, 2000). Si una epidemia comenzara en un nodo con alto valor de out-closeness, como puede ser alguna de las granjas dedicadas a la producción de carne identificadas con altos valores, la difusión será mayor y más lejos a través de la red que si comenzara en un nodo con bajo valor de out-





closeness (Natale et al., 2009). Igualmente, la centralidad de cercanía es un buen indicador de las probabilidades de infección (Bell, et al. 1999), proporcionando información del nodo más probable de recibir y difundir la infección, con independencia de qué granja se haya infectado previamente dentro de la red.

Cuando se analizaron en detalle los datos individuales de las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos los resultados obtenidos tanto para el 2009 como para el 2010 fueron similares para ambas provincias, los mayores valores de in-degree se produjeron en las granjas dedicadas a la producción de carne y los valores de out-degree en plantas de incubación. Sin embargo, los mayores resultados de in-closeness y out-closeness para el 2010 y 2009 se producen en granjas de producción de carne para ambas provincias. Todos estos resultados fueron similares a los obtenidos a nivel país.

Los resultados obtenidos del análisis de los movimientos por tipo de producción nos indican la importancia epidemiológica que tienen tanto las granjas de incubación como las de producción de carne, además de las categorías involucradas en estos movimientos. Las granjas de incubación tienen una importancia mayor en la difusión, siendo potenciales super-difusores en caso de verse afectadas por la ENC u otra enfermedad avícola.

Por otra parte, hasta la fecha no hay estudios que cuantifiquen la naturaleza y el grado de error (en caso de que existiera) de la base de datos del Senasa sobre los movimientos de aves en la Rep. Argentina, esto podría ser útil para ir mejorando la “calidad” de los datos y poder incorporar nuevos datos que pueden resultar de interés para futuros estudios epidemiológicos. En nuestro trabajo, analizando los datos aportados por el Senasa de los años 2009 y 2010 solo el 0.01% de los registros fueron eliminados del análisis porque estaban incompletos o presentaban algún tipo de error o incongruencia.

Es necesario que este análisis sea continuamente revisado con el fin de producir resultados actualizados y que sean útiles como apoyo a la toma de decisiones. En nuestro análisis se observó que sólo un 30% de las granjas realizaron los mismos movimientos (mismo origen y destino) en los mismos meses en el 2009 con respecto al 2010, lo que significa que los patrones espacio-temporales comerciales pueden variar de forma notable de un año a otro.



### VI-3. DISCUSIÓN DEL MODELO DE DIFUSIÓN DEL VNC EN LA REP. ARGENTINA

---

Los resultados obtenidos del modelo de difusión permiten evaluar la evolución potencial de una epidemia del VNC en la Rep. Argentina una vez que es introducido, como así también identificar zonas de mayor riesgo y cuantificar las posibles consecuencias sanitarias identificando el número de granjas y aves infectadas. El modelo SIR realizado en el presente estudio además de incorporar la red de contacto entre las granjas comerciales considera la difusión de la enfermedad dentro de la granja (probabilidad de que el ave movilizada este infectada en función de la situación sanitaria de la granja). Hasta la fecha no existe ningún trabajo publicado que simule una epidemia del VNC basado en la red de contactos entre granjas en la Rep. Argentina, ni en otros países.

La validez de todo modelo depende al fin y al cabo de que los datos sobre los que se basa sean exactos y completos (Kao, 2002), generalmente, los datos no están siempre disponibles o no son fiables, en particular al principio de un brote, cuando las decisiones que se tomen determinarán el tamaño de la epidemia siguiente. Esto es lo que crea un problema serio para establecer pronósticos en base a modelos. En lo que respecta a los datos utilizados para el desarrollo del modelo de difusión corresponden a los movimientos reales de aves entre granjas comerciales de la Rep. Argentina durante el año 2010 aportados por el Senasa. La calidad de los datos requeridos para evaluar las redes de contactos es una de las principales limitantes que tienen estos modelos (Bearman et al., 2004), sin embargo en nuestro caso pudimos incorporar al modelo información real desagregada con aspectos espaciales y temporales muy detallada, como son las coordenadas geográficas de las granjas de origen y destino del movimiento, el tipo de granja, así como el número de aves movilizadas por día.

Existen numerosos programas informáticos que han sido desarrollados que nos permiten simular una epidemia basado en redes sociales, sin embargo ninguno de ellos tienen en cuenta la direccionalidad y la temporalidad de los movimientos. Algunos ejemplos disponibles como el modelo de simulación para el estudio del comportamiento de enfermedades de riesgo, investigación de la difusión de enfermedades basado en una red entre ciudades y el modelo de simulación para la difusión de la fiebre tifoidea, se han diseñado con el programa informático NetLogo, cuya principal desventaja es no tener en cuenta la direccionalidad de los movimientos (Wilensky, 1999; Merville-Tugg, 2006; Railsback et al., 2006; Sutiono, et al., 2007; Maharaj et al., 2011). Otros programas como el



Epigrass facilita la simulación y el análisis de modelos complejos basados en redes sociales (Coelho y Cruz, 2008), permite al usuario modelizar los movimientos de individuos infectados entre poblaciones homogéneamente mezcladas, simulando así la difusión de una enfermedad a través del espacio, pero la principal limitante de este programa es que no tiene en cuenta la temporalidad de los movimientos. En nuestro caso, el modelo desarrollado en la presente tesis permite simular una epidemia del VNC basado en redes sociales teniendo en cuenta tanto la direccionalidad como la temporalidad de los movimientos, lo que pretende incrementar el realismo de la simulación. Una de las ventajas cuando se utiliza un modelo basado en la red de contactos, como se ha realizado en el presente estudio, es eliminar los supuestos que tienen los modelos tradicionales que es que la población se encuentra completamente mezclada y que los movimientos son al azar (Witten y Poulter, 2007).

Una de las limitaciones del presente estudio es que solo fue modelizada la difusión del virus entre granjas comerciales, una posible incorporación al modelo son los movimientos de aves entre granjas a mercados (ej. exposiciones de aves) ya que las consecuencias de la difusión en este tipo de establecimientos podrían ser otras. Otros factores de difusión que podrían incorporarse al modelo desarrollado son, los movimientos de personas, difusión por transporte, etc.

La modelización de enfermedades infecciosas mediante modelos SIR ha sido empleada numerosas veces como herramienta para la toma de decisiones (Miller, 1976; Wahlstrom et al., 1998; Tsutsui et al., 2003; Howard y Donnelly; 2000; Perez et al., 2002a, Perez et al., 2002b; Amador, 2003; Keeling et al., 2010; Martín et al., 2011), sin embargo, este tipo de SIR asumen, entre otras cosas, que todos los individuos pueden potencialmente contactar con cualquier otro individuo en la población, lo cual, es poco realista en la mayoría de los casos. En el presente estudio se ha utilizado para la modelización de VNC un modelo SIR basado en la difusión de la enfermedad dentro de la granja y en la red real de contactos en Argentina, lo que pretende, por tanto dotar de un mayor realismo al modelo. Los patrones de contactos entre individuos son cruciales para determinar la difusión de enfermedades infecciosas en una población (Anderson y May, 1991), y debido a esto, los modelos basados en redes sociales son modelos considerados realistas y apropiados para entender como los agentes infecciosos se diseminan entre las poblaciones (Rvachev et al., 1985; Balcan et al., 2009; Martín, et al., 2010). La topología de la estructura de los contactos en una red, la presencia de nodos con alto número de contactos, la cantidad de contactos, entre otros, tienen implicancias importantes en la difusión y en el control de epidemias



(Keeling y Eames, 2005). Como se dijo en la sección I-5.3., los modelos epidemiológicos están reconocidos como instrumentos valiosos que pueden resultar útiles para los gestores en sanidad animal para identificar y evaluar enfoques alternativos para controlar las enfermedades. Así lo demuestran las recientes publicaciones científicas y su predisposición por parte de numerosos servicios veterinarios oficiales para desarrollar modelos de difusión (Dubé, et al., 2007; Willeberg et al., 2011). Por ejemplo, los modelos epidemiológicos en medicina preventiva pueden ser usados para estudiar el impacto sanitario y económico de las enfermedades, para la evaluación de las zonas y periodos de mayor riesgo para la difusión de la enfermedad, para evaluar el coste/beneficio de distintas estrategias de vigilancia y control, o para una mejor planificación ante una emergencia (Ferguson et al., 2001a,b; Keeling et al., 2001; Amador, 2003; Dubé et al., 2007; Martínez López, 2009; Iglesias, 2011). Asimismo, los modelos epidemiológicos basados en el análisis de redes sociales muestran que la aplicación de medidas de prevención en establecimientos con altos valores de las medidas de centralidad pueden prevenir eficientemente la difusión de enfermedades y sus consecuencias (Natale et al., 2009).

Para evaluar las consecuencias sanitarias que una incursión del VNC tendría en la Rep. Argentina se han evaluado diversos escenarios. Concretamente, se realizaron simulaciones de una epidemia cuyos brotes primarios (casos índices) correspondieron a distintos tipos de producción de aves comerciales (producción de carne, producción de huevos, plantas de incubación y otras producciones), distintas localizaciones y en diferentes meses (Figura 23). La duración de la epidemia simulada, en cada una de las 14 granjas seleccionadas (casos índices), fue de 16 días, tiempo máximo asumido que podría durar el período de alto riesgo en la Rep. Argentina (Tabla 42). Así por ejemplo, cuando el caso índice corresponde a una granja dedicada a la producción de carne localizada en la provincia de Entre Ríos (escenario N° 1) e identificada en la sección V-2 como la granja con el mayor número de contactos primarios (out-degree), el tamaño medio de la epidemia simulada fue de 85 granjas primarias infectadas (1.832.930 aves infectadas de un total de 9.381.378 aves susceptibles). En este caso se observó que la difusión de la enfermedad solo afectó a las granjas localizadas en la provincia de Entre Ríos y Buenos Aires por lo que una zonificación/ compartimentalización de los movimientos en estas dos provincias resultaría eficaz para controlar la epidemia.

Los resultados obtenidos para el escenario N° 2 corresponden al caso índice de una granja localizada en la provincia de Entre Ríos, dedicada a la producción de carne con un alto valor de out-degree y con contactos secundarios. La media de animales primarios



movilizados fue de 371.978 y 47.703 secundarios, mientras que la cantidad de establecimientos primarios infectados fue de 26 y 16 secundarios. El tamaño medio de la epidemia simulada fue de 353.697 aves infectadas de un total de 4.461.357 aves susceptibles. En este ejemplo se observó, a diferencia de lo que ocurre en el escenario N° 1, que las granjas afectadas tanto primarias como secundarias se encuentran localizadas en 11 provincias diferentes, lo que supone un mayor riesgo para el control y erradicación de la enfermedad.

Igualmente, se realizaron simulaciones en diferentes meses del año para evaluar el impacto que las variaciones temporales de la estructura comercial entre granjas pueden tener en la difusión de la enfermedad. No existe una variación temporal significativa en los movimientos analizados en los distintos escenarios durante la simulación de la epidemia, estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos en la sección V-2.2.2. donde se observó que no existe una variación temporal de los movimientos; ni tampoco sobre la cantidad de aves movilizadas. Este resultado nos indica que básicamente, no habría diferencias significativas en la magnitud y la duración de una epidemia de VNC en función del mes del año que comenzase dicha epidemia. Además, este resultado contrasta con estudios previos para otras enfermedades en otras especies (ej. fiebre aftosa o peste porcina clásica) en los cuales sí que se observa una marcada estacionalidad de movimientos, y por tanto, una gran diferencia en epidemias que comiencen en diferentes épocas del año (León et al., 2006; Martínez López, 2009; Aznar et al., 2011).

También, se realizó una simulación de una epidemia de 12 semanas de duración, y los contactos (granjas y aves) fueron analizados. La simulación fue realizada en dos escenarios diferentes, para el escenario N° 1 se utilizó como caso índice una granja con un alto valor de out-degree y para el escenario N° 2 una granja con alto número de contactos secundarios con el objetivo de poder identificar variaciones por semana del número de animales y granjas afectadas y así poder evaluar cómo afecta el tiempo de detección ante una epidemia del VNC en relación a la cantidad de animales y granjas afectadas. Los resultados obtenidos sobre la cantidad de nodos y animales primarios y secundarios en cada una de las semanas están representados en la figura 89 y figura 90. Los principales resultados obtenidos para el escenario N° 1 y N° 2 muestran un aumento lineal de nodos y animales primarios infectados de 45 y 16 nodos por semana, respectivamente. Resultados similares a estos, donde se observó que el crecimiento exponencial de nodos infectados en ausencia de medidas de control, fueron descritos en otros estudios (Amador et al., 2003; Yoon et al., 2006).



No fue posible realizar la validación de este modelo debido a la falta de datos de epidemias pasadas registradas en la Rep. Argentina ni de trabajos previos publicados. Hay que tener en cuenta que el último brote del VNC en la Rep. Argentina fue en 1987 y no se dispone de la información (ej. cantidad de establecimientos y aves infectadas, cantidad de aves susceptibles, localización georreferenciada de las granjas, etc), de dicha epidemia. Además, la situación epidemiológica en ese entonces no es comparable con la actual, ya que la cantidad de granjas, localización y la estructura de los contactos no es la misma que hace 25 años. Una forma de poder validar los resultados obtenidos de nuestro modelo es validarlo con epidemias del VNC que en un futuro puedan producirse en la Rep. Argentina.

Por otra parte, las consecuencias económicas que un brote del VNC pudiera ocasionar en la Rep. Argentina no pudieron ser evaluadas en el presente estudio debido a la falta de datos disponibles para la Rep. Argentina sobre los costes directos e indirectos que pudieran provocar. Estudios similares a los realizados en otros estudios publicados (Garner y Lack, 1995a,b; Mahul y Durand, 2000; McDermott et al., 2001; Iglesias et al., 2008) sobre las consecuencias económicas de una epidemia del VNC podrían ser llevados a cabo utilizando los resultados obtenidos en esta tesis. Los costes directos e indirectos que deberían tenerse en cuenta para la evaluación de las consecuencias de un brote del VNC serían: costes directos relacionados a los *sacrificios* (ej. realización de sacrificios masivos, indemnización por animal, perdidas de producción, etc.), *inmovilizaciones* (ej. pérdidas de transportistas, perdidas de producción), *análisis de diagnostico y aislamiento del virus*, *vacunaciones en anillo*, *limpieza y desinfección de las granjas afectadas* y *servicios veterinarios*, entre otros. Además deberían tenerse en cuenta los costes indirectos como el *cierre de mercados* (ej. mercados externos e internos de aves vivas, carne y productos cárnicos, huevos y ovoproductos) y *caída de precios en el mercado* (ej. incremento de los gastos en producción). También, puede incorporarse otros parámetros que podrían modificar una epidemia del VNC como puede ser la bioseguridad de las granjas avícolas. Aparte de la introducción de enfermedades infecciosas, los modelos epidemiológicos basados en redes sociales podrían ser utilizados para entender patrones de difusión geográficos de enfermedades endémicas que afecten al sector avícola de la Rep. Argentina como los trabajos realizados por Cummings et al., 2004 y Riley, 2007.

Hay que destacar, como se dijo anteriormente, que los modelos de simulación predictivos son generalmente usados para demostrar el efecto de las diferentes estrategias de control y de los programas de vigilancia durante el curso de una epidemia y pueden ser usados



para situaciones donde no pueden ser examinadas experimentalmente o en condiciones naturales. La modelización epidemiológica realizada en esta tesis no solo nos permite analizar el impacto sanitario de una potencial epidemia del VNC en la Rep. Argentina sino también otras enfermedades que afecten al sector avícola. Enfermedades infecciosas aviares como la ENC, IA, tienen un comportamiento complejo, y los modelos matemáticos son una buena herramienta para explicar los procesos infecciosos (Stegeman et al., 2011). Hasta la fecha no existe una modelización de enfermedades aviares para la Rep. Argentina, sin embargo existen trabajos publicados que modelizan otras enfermedades como la tuberculosis (Perez et al., 2002a, Perez et al, 2002b). Además, los resultados obtenidos a partir de estos modelos pueden ser extrapolados a situaciones o áreas geográficas diferentes de las que fueron originalmente realizadas (De Jong et al., 2009).

A pesar de las limitaciones y supuestos descritos anteriormente, este es el primer trabajo realizado para la Rep. Argentina donde fue modelizada la dinámica de la epidemia del VNC. Este modelo permite explorar las diferentes formas de contagios y su alcance, como también sobre las estrategias de control que pueden ser utilizadas. También, brinda una herramienta para diseñar y comparar la efectividad de nuevas estrategias de control y erradicación del la ENC como así también puede ser aplicado a otras enfermedades. Uno de los objetivos de este trabajo consistió en entender como la difusión del VNC depende de la estructura de los contactos basados en redes e identificando nodos importantes que podrían introducir la infección en la población. Esto permite a las autoridades sanitarias focalizar y priorizar los esfuerzos de vigilancia y control en las granjas con mayor riesgo potencial de introducción/ difusión del VNC y responder más eficientemente ante una epidemia sabiendo cuantos establecimientos y animales se verán afectados en un tiempo determinado y como la epidemia se propagaría a lo largo del país.



## **VII. CONCLUSIONES**





## VII. CONCLUSIONES

1. El mayor riesgo relativo total de introducción del VNC en la Rep. Argentina está asociado al comercio legal de pollos y palomas. Los países que representan un mayor riesgo relativo de liberación/introducción en la Rep. Argentina asociado a la importación de pollos fueron Estados Unidos y Brasil, mientras que Estados Unidos representó el mayor riesgo relativo para palomas.
2. Los patos, pavos y las psitácidas tuvieron un riesgo relativo total de introducción medio, sin embargo, su impacto potencial esperado en el país sería bajo, ya que la producción de pavos y patos representa menos del 1% del total de aves comerciales en la Rep. Argentina.
3. Se obtuvieron valores insignificantes de riesgo relativo total de introducción asociados a la importación de aves ornamentales, sin embargo, la incertidumbre asociada a esta vía fue alta, lo que refleja la necesidad llevar a cabo estudios que permitan recopilar información de mayor calidad y precisión para poder cuantificar y analizar en profundidad dicha vía.
4. El país que representa un mayor riesgo relativo de liberación/introducción del VNC en la Rep. Argentina asociado a la importación de aves vivas fue Estados Unidos, resultado que se debió en parte a la combinación del elevado número de aves vivas introducidas cada año en la Rep. Argentina procedentes de Estados Unidos y a los brotes de VNC registrados en ese país en los años de estudio.
5. Al no existir una variación temporal significativa de los movimientos de aves comerciales entre granjas, ni diferencias en la magnitud y duración de epidemias simuladas en diferentes épocas del año con el modelo de difusión, se recomienda la implantación de un programa de vigilancia permanente durante todo el año, no pudiendo concentrarse en épocas/meses concretos.
6. Las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos concentran alrededor del 70% de los movimientos de aves comerciales y más del 80% de las granjas avícolas del país, lo cual indica que los esfuerzos de vigilancia deben concentrarse, mayoritariamente, en dichas provincias.



7. La caracterización del nivel de bioseguridad de las explotaciones avícolas en la Rep. Argentina nos reveló que más del 70 % de las granjas avícolas de las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos que realizan movimientos (ingresos y egresos) cuentan con niveles de bioseguridad adecuados, lo que minimiza el riesgo de introducción y difusión de las enfermedades, no obstante, deberían incrementarse los niveles de bioseguridad del 30% de las granjas restantes para reducir al máximo el riesgo de futuras epidemias en el país.

8. Para el año 2009 y 2010 los mayores valores de centralidad de grado “in-degree” se concentraron en las granjas de producción de carne y los mayores valores de “out-degree” en las plantas de incubación. El listado de granjas identificadas en este estudio con mayores valores de in-degree y out-degree deben ser las prioritarias para centralizar los esfuerzos de vigilancia y control potencial de la ENC en el país.

9. El modelo de difusión basado en la red real de contactos nos reveló una variación significativa en el tamaño potencial de una epidemia de ENC, en el número de animales y de granjas infectadas, en función del tipo de producción y localización de la granja primo-infectada (caso índice), siendo las epidemias de mayor magnitud aquellas que comenzaron en plantas de incubación y en granjas de producción de carne.



## **VIII. BIBLIOGRAFÍA**





## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abenes, G.B., Okazaki, H., Fukushi, H., Kida, H., Honda, E., Yagyu, M., Tsuji, M., Sato, H., Ono, E., Yanagawa, R. & Yamaguchi, N. (1982). Isolation of ortho- and paramyxoviruses from feral birds in Hokkaido, Japan, 1980-1981. *Jap. J. Vet. Sci.*, 44, 703-708.
- Aldous, E.W. & Alexander, D.J. (2008). Newcastle disease in pheasants (*Phasianus colchicus*): a review. *The Veterinary Journal*, 175, 181-185.
- Aldous, E.W., Fuller, C.M., Mynn, J.K. & Alexander, D.J. (2004). A molecular epidemiological investigation of isolates of the variant avian paramyxovirus type 1 virus (PPMV-1) responsible for the 1978 to present panzootic in pigeons. *Avian Pathology*, 33, 258-269.
- Aldous, E.W., Manvell, R.J., Cox, W.J., Ceeraz, V., Harwood, D.G., Shell, W., Alexander, D.J. & Brown, I.H. (2007). Outbreak of Newcastle disease in pheasants (*Phasianus colchicus*) in south-east England in July 2005. *The Veterinary Record*, 160, 482-484.
- Alexander D.J., Bell J.G., & Alders R.G. (2004). Technology Review: Newcastle Disease with Special Emphasis on Its Effects on Village Chickens, chapter 1–3, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Alexander D.J., Parsons G. & Marshall R. (1984). Infection of fowls with Newcastle disease virus by food contaminated with pigeon faeces. *Vet. Rec.*, 115, 601-602.
- Alexander, D.J. & Chettle, N.J. (1998). Heat inactivation of serotype 1 infectious bursal disease virus. *Avian Pathology*, 27, 97-99.
- Alexander, D.J. & Manvell, R.J. (2004). Heat inactivation of Newcastle disease virus (strain Herts 33/56) in artificially infected chicken meat homogenate. *Avian Pathology*, 33, 222-225.
- Alexander, D.J. (1988). Newcastle disease: methods of spread. In: Alexander, D.J. (Ed.), *Newcastle Disease* (pp. 256-272). Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Alexander, D.J. (1991). Newcastle disease and other Paramyxovirus infection. In Calnek, B. W., Barnes, H. J., Reid, W.M. & Yoder, H.W. (Eds.), *Diseases of poultry*, 9th edn (pp. 496–512). Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Alexander, D.J. (1995). Newcastle disease in countries of the European Union. *Avian Pathology*, 24, 3-10.
- Alexander, D.J. (1995 b). The epidemiology and control of avian influenza and Newcastle disease. *Journal of Comparative Pathology*, 112, 105-126.
- Alexander, D.J. (1997). Newcastle disease and other avian Paramyxoviridae infections. In Calnek, B. W., Barnes, H. J., Beard, C. W., McDougald, L. R. & Saif, Y. M. (Eds.), *Diseases of poultry*, 10th edn (pp. 541–570). Iowa State University Press, Ames, Iowa.



- Alexander, D.J. (2000). Newcastle disease and other avian paramyxoviruses. *Rev. Sci. Technol. (OIE)*, 19, 443–462.
- Alexander, D.J. (2001). Newcastle disease. *British Poultry Science*, 42, 5-22.
- Alexander, D.J. (2003). Newcastle disease, other avian Paramyxoviruses and pneumovirus infections: Newcastle disease. In Saif, Y.M. (Ed.), *Disease of Poultry* (pp. 64-87). Iowa State University Press, USA.
- Alexander, D.J. (2008). *Poultry Diseases*. Edited by: Mark Pattison, Paul F. McMullin, Janet M. Bradbury and Dennis J. Alexander. Sixth Edition, ISBN: 978-0-7020-2862-5.
- Alexander, D.J., Manvell R.J., Collins M. S., Brockman S.J., Westbury H.A., Morgan I. & Austin F.J. (1989). Characterization of paramyxoviruses isolated from penguins in Antarctica and sub-Antarctica during 1976–1979. *Arch. Virol.*, 109, 135–143.
- Alexander, D.J., Morris, H.T., Pollitt, W.J., Sharpe, C.E., Eckford, R.L., Sainsbury & R.M.Q. (1998). Newcastle disease outbreaks in domestic fowl and turkeys in Great Britain during 1997. *The Veterinary Record*, 143, 209-212.
- Alexander, D.J., Wilson, G.W.C., Russell, P.H., Lister, S.A. & Parsons, G. (1985) Newcastle disease outbreaks in fowl in Great Britain during 1984. *Veterinary Record*, 117, 429–34.
- Allwright, D. (1996). Viruses encountered in intensively reared ostriches in southern Africa. *Proceedings of Improving our Understanding of Ratites in a Farming Environment* (pp. 27–33). Oxford, UK.
- Alvarez-Ortiz, N.E., Moreno Chan, R., & Tapia Pérez, G. (1992). Eficacia viricida de los desinfectantes comerciales contra el virus de la Enfermedad de Newcastle, Tesis de Licenciatura. Fac de Med. Vet. Y Zoot., UNAM, México.
- Amador, A. (2003). Dinámica estocástica de la epidemia de Fiebre Aftosa. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física.
- Análisis de riesgo de EEUU, (2004). Risk of Exporting Exotic Newcastle Disease (END) in Poultry and Poultry Products from Argentina to the United States. USDA. (disponible en: [https://web01.aphis.usda.gov/db/mtaddr.nsf/2f5c87c0140172cb852564bf0046d1e2/e5725720630975485257067006a81c2/\\$FILE/ArgRiskAnalysisFinal.pdf](https://web01.aphis.usda.gov/db/mtaddr.nsf/2f5c87c0140172cb852564bf0046d1e2/e5725720630975485257067006a81c2/$FILE/ArgRiskAnalysisFinal.pdf)).
- Anderson, R.M. & May, R.M. (1991). *Infectious Diseases of Humans: dynamics and control*. Oxford University Press; ISBN-13: 978-0198540403.
- Animal Health Australia (2010). Disease strategy: Newcastle disease. Australian Veterinary Emergency Plan (AUSVETPLAN), 3<sup>a</sup> Edition, Primary Industries Ministerial Council, Canberra, ACT.
- Arzey G.G. (1989). The mechanisms of spread of Newcastle disease. Technical Bulletin 42, NSW Agriculture and Fisheries.



- Asplin, F.D. (1949). Observations on the variability of Newcastle disease. *The Veterinary Record*, 61, 159-160.
- Atienza, V.C., (1987). Philippines. In: *Newcastle Disease in Poultry, A New Food pellet Vaccine*. Ed. Copland, J.W ACIAR Monograph. No. 5. Canberra. pp. 93-95.
- Awan, M.A., Otte, M.J. & James, A.D. (1994). The epidemiology of Newcastle disease in rural poultry: a review. *Avian Pathology*, 23, 405-423.
- Aznar, M.N., Stevenson, M.A., Zarich, L., & León, E.A. (2011). Analysis of cattle movements in Argentina, 2005. *Preventive Veterinary Medicine*, 98, 119-127.
- Balcan, D., Colizza, V., Gonçalves, B., Hu, H., Ramasco, J.J. & Vespignani, A. (2009). Multiscale mobility networks and the spatial spreading of infectious diseases. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 106, 21484.
- Ballagi-Pordány, A., Wehmann, E., Herczeg, J., Belák, S. & Lomniczi, B. (1996). Identification and grouping of Newcastle disease virus strains by restriction site analysis of a region from the F gene. *Archives of Virology*, 141, 243-261.
- Bates, T.W., Thurmond, M.C. & Carpenter, T.E. (2003). Description of an epidemic simulation model for use in evaluating strategies to control an outbreak of foot-and mouth disease. *Am. J. vet. Res.*, 64, 195-204.
- Beard, C.W. & Hanson, R.P. (1981). Newcastle disease. In Hofstad, M.S., Barnes, H.J., Calnek, B.W., Reid, W.M. & Yoder, H.W. (Eds.), *Diseases of Poultry*, 8th edn (pp. 452-470). Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Bearman, P.S., Moody, J. & Stovel, K. (2004) Chains of affection: the structure of adolescent romantic and sexual networks. *Am. J. Sociol.*, 110, 44–91.
- Beauchamp, M.A. (1965). An improved index of centrality. *Behav. Sci.*, 10, 161–163.
- Bell, C.B., Atkinson, J.S. & Carlson, J.W. (1999). Centrality measures for disease transmission network. *Social Networks*, 21, 1–21.
- Berends, I.M.G.A, Kense, M.J., Fabri, T.H.F., v.Schaik, G. & Bartels, C.J.M. (2009). Qualitative and Quantitative Risk Analysis of Hatchery waste. The risk of Salmonella, ND, AI infection and infectiveness of the contents of non-hatched eggs. *Animal Health Service (GD)*.
- Biancifiori, F. & Fioroni, A. (1983). An occurrence of Newcastle disease in pigeons: virological and serological studies on the isolates. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 6, 247–252.
- Bigras-Poulin, M., Barfod, K., Mortensen, S. & Greiner, M. (2007). Relationship of trade patterns of the Danish swine industry animal movements network to potential disease spread. *Prev. Vet. Med.*, 80, 143–165.
- Bigras-Poulin, M., Thompson, R.A., Chriel, M., Mortensen, S. & Greiner, M., (2006). Network analysis of Danish cattle industry trade patterns as an evaluation of risk potential for disease spread. *Prev. Vet. Med.*, 76, 11–39.





- Biosecurity Australia (2010) Generic Import Risk Analysis Report for Chicken Meat. Final Report. Biosecurity.
- Bogoyavlenskiy, A., Berezin, V., Prilipov, A., Usachev, E., Lyapina, O. & Korotetskiy, I., (2009). Newcastle diseases outbreaks in Kazakhstan and Kyrgyzstan during 1998, 2000, 2001, 2003, 2004, and 2005 were caused by viruses of the genotypes VIIb and VIId. *Virus Genes*, 39, 94-101.
- Boklund, A., Alban, L., Mortensen, S. & Houe, H. (2004). Biosecurity in 116 Danish fattening swineherds: descriptive results and factor analysis. *Prev. Vet. Med.*, 66, 49–62.
- Boyd, R.J. & Hanson, R.P. (1958). Survival of Newcastle disease virus in nature. *Avian Diseases*, 2, 82–93.
- Bozorgmehri-Fard, M.H. & Keyvanfar, H., (1979). Isolation of Newcastle disease virus from teals (*Anas crecca*) in Iran. *J. Wildl. Dis.*, 15, 335–337.
- Brandly, C.A., Jones, H.E., Jones, E.E. & Jungherr, E.L. (1946). Epizootology of Newcastle disease in poultry. *Am. J. Vet. Res.*, 24, 243-249.
- Bruning-Fann, C., Kaneene, J. & Heamon, J. (1992). Investigation of an outbreak of velogenic viscerotrópico Newcastle disease in pet birds in Michigan, Indiana, Illinois and Texas. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 201, 1709-1714.
- Burbano, L .A., Schaik, G., Ernst, S. & Rojas, H. (2005). Risk of introduction of Newcastle disease in Chile through import of ostriches. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 55-59.
- Burridge, J.J., Riemann, H.P. & Utterback, W.W. (1975). Methods of spread of velogenic viscerotropic Newcastle disease in the Southern Californian epidemic of 1971-1973. *Avian Dis.*, 19, 666-678.
- Cadman, H.F., Kelly, P.J., Zhou, R., Davelaar, F. & Mason, P.R. (1994). A serosurvey using enzyme-linked immunosorbent assay for antibodies against poultry pathogens in ostriches (*Struthio camelus*) from Zimbabwe. *Avian Diseases*, 38, 621-25.
- Capua I., Scacchia M., Toscani T. & Caporale V. (1993). Unexpected isolation of virulent Newcastle disease virus from commercial embryonated fowl eggs. *Journal of Veterinary Medicine*, 40, 609-612.
- Capua, I., Dalla Pozza, M., Mutinelli, F., Marangon, S. & Terregino, C. (2002). Newcastle disease outbreaks in Italy during 2000. *The Veterinary Record*, 150, 565-568.
- Capua, I., Manvell, R.J., Antonucci, D. & Scaramozzino, P. (1994). Isolation of the pigeon PMV-1 variant of Newcastle disease virus from imported pheasants (*Phasianus colchicus*). *Zentralblatt für Veterinärmedizin - Reihe B / Journal of Veterinary Medicine - Series B*, 41, 675-678.
- Caupa, I. & Alexander, D.J. (Eds). (2009). *Avian Influenza and Newcastle Disease A Field and Laboratory Manual*. Milan: Springer-Verlag. ISBN 978-88-470-0825-0.



- Chambers, P., Millar, N.S., Bingham, R.W. & Emmerson, P.T. (1986). Molecular cloning of complementary DNA to Newcastle disease virus, and nucleotide sequence analysis of the junction between the genes encoding the haemagglutinin-neuraminidase and the large protein. *Journal of General Virology*, 67, 475–486.
- Chen J. & Wang C. (2002). Clinical epidemiologic and experimental evidence for the transmission of Newcastle disease virus through eggs. *Avian Dis.*, 46, 461-465.
- Christley, R.M. & French, N.P. (2003). Small-world topology of UK racing: the potential for rapid spread of infectious agents. *Equine Vet. J.*, 35, 586-589.
- Christley, R.M., Robinson, S.E., Lysons, R. & French, N. (2005). Network Analysis of cattle movement in Great Britain. *Proceedings of the Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine*, 234-243.
- Coelho C.C.F.C. & Cruz, H. (2008). Epigrass: A tool to study disease spread in complex networks. *Source Code for Biology and Medicine*, vol. 3, no. 3.
- Collins, M.S., Bashiruddin, J.B. & Alexander, D.J. (1993). Deduced amino acid sequences at the fusion protein cleavage site of Newcastle disease viruses showing variation in antigenicity and pathogenicity. *Archives of Virology*, 128, 363-370.
- Corner, L.A.L., Pfeiffer, D.U. & Morris, R.S., (2003). Social-network analysis of *Mycobacterium bovis* transmission among captive brushtail possums (*Trichosurus vulpecula*). *Prev. Vet. Med.*, 59, 147–167.
- Cummings, D.A.T., Irizarry, R.A., Huang, N.E., Endy, T.P., Nisalak, A., Ungchusak, K. & Burke, D.S. (2004). Travelling waves in the occurrence of dengue haemorrhagic fever in Thailand. *Nature*, 427, 344-347.
- Dawson, P.S., (1973). Epizootiological aspects of Newcastle disease. *Bulletin, Office International des Epizooties*, 79,27–34.
- De Jong, M.C.M. & Hagenaars T.J. (2009). Modelling control of avian influenza in poultry: the link with data. In *Avian influenza* (T. Mettenleiter, ed.). *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 28, 371-377.
- de Leeuw, O. & Peeters, B. (1999). Complete nucleotide sequence of Newcastle disease virus: evidence for the existence of a new genus within the subfamily Paramyxovirinae. *Journal of General Virology*, 80, 131–136.
- Deibel, R., Diane, E., Emord, W., Hinshaw, V.S. & Wood, J.M. (1985). Influenza viruses and paramyxoviruses in ducks in the Atlantic flyway, 1977-1983, including an H5N2 isolate related to the virulent chicken virus. *Avian Dis.*, 29, 970-985.
- Dent, J.E., Kao, R.R., Kiss, I.Z., Hyder, K. & Arnold, M. (2008). Contact structures in the poultry industry in Great Britain: exploring transmission routes for a potential avian influenza virus epidemic. *BMC Vet. Res.*, 4, 27.
- Doyle, T.M. (1927). A hitherto unrecorded disease of fowls due to a filter-passing virus. *Journal of Comparative Pathology and Therapeutics*, 40, 144-169.



- Dubé, C., Garner, G., Stevenson, M., Sanson, R., Estrada, C. & Willeberg, P. (2007). The use of epidemiological models for the management of animal diseases. In Proc. 75th General Session of the International Committee of the World Organisation for Animal Health (OIE), 20-25 May, Paris, 11.
- Dubé, C., Ribble, C., Kelton, D. & McNab, B. (2009). Comparing network analysis measures to determine potential epidemic size of highly contagious exotic diseases in fragmented monthly networks of dairy cattle movements in Ontario, Canada. *Transbound. emerg. Dis.*, 56, 73-85.
- Dubé, Ribble C., Kelton, D. & McNab, B. (2011). Introduction to network analysis and its implications for animal disease modeling. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 30, 425-436.
- Duerr, H.P., Schwehm, M., Leary, C.C., De Vlas, S. J. & Eichner, M. (2007). The impact of contact structure on infectious disease control. *Epidemiol. Infect.*, 135, 1124–1132.
- Eaves, F.W. & Grimes, T.M. (1978). The isolation and characterization of a Newcastle disease virus from an exotic parrot. *Austr. Vet. J.*, 54, 534-540.
- EFSA, (2006 b). EFSA Scientific Opinion on animal health and welfare risks associated with the import of wild birds other than poultry into the European Union. *The EFSA Journal*, 410, 1-55.
- EFSA. (2006). Scientific opinion on Migratory birds and their possible role in the spread of highly pathogenic Avian Influenza. *The EFSA Journal*, 357, 1-46.
- EFSA. (2007). Opinion of the scientific panel on animal health and animal welfare focussing on vaccination worldwide in order to determine its optimal use for disease regarding a request from the european commission to review Newcastle disease control purposes. *The EFSA Journal*, 477, 1-25.
- Ehram, H., Homberger, F. & Lott-Stolz, G. (1975). Newcastle disease (atypische Geflügelpest) bei in die Schweiz importierten Papageien. *Schweiz. Arch. Tierheilk.*, 117, 547-555.
- El mercado de la carne aviar en los países del CAS, (2010). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). ISBN 13:978-92-9248-153-7 (disponible en: [www.icca.int](http://www.icca.int)).
- Elber, A.R., Stegeman, A., Moser, H., Ekker, H.M., Smak, J.A. & Pluimers, F.H. (1999). The classical swine fever epidemic 1997–1998 in The Netherlands: descriptive epidemiology. *Prev. Vet. Med.*, 42, 157–184.
- England, T., Jones, R., Kelly, L., Wooldridge, M. (2002). A simulation model to estimate the rate of spread of Brucellosis within the national cattle herd under a variety of testing strategies. Poster presented at conference of Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine. April 3–5, Cambridge, UK, <http://www.svepm.org.uk/Posters2002/transm~1.doc>.
- Erickson, G.A., Maré, C.J., Gustafson, G.A., Miller, L.D., Proctor, S.J. & Carbrey, E.A. (1977). Interactions between viscerotropic velogenic Newcastle diseases virus



- and pet birds of six species. I. Clinical and serologic responses, and viral excretion. *Avian Diseases*, 21, 642-654.
- FAOSTAT. (2012). Production. Live animals. (disponible en: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx> (último acceso abril 2013)).
- Fauquet, C.M. & Fargette, D. (2005). International Committee on Taxonomy of Viruses and the 3,142 unassigned species. *Virol. J.*, 2, 64.
- Fehervari, T. (2000). Estrategias y control de la enfermedad de Newcastle en otros países. En *Enfermedades emergentes: Enfermedad de Newcastle*. Ed. by DPA: Aves, FMVZ, UNAM. Mexico D.F. p. 1-6.
- Ferguson, N.M., Donnelly, C.A. & Anderson, R.M. (2001). The foot-and-mouth epidemic in Great Britain: pattern of spread and impact of interventions. *Science*, 292, 1155–1160.
- Ferguson, N.M., Donnelly, C.A. & Anderson, R.M. (2001b). Transmission intensity and impact of control policies on the foot and mouth epidemic in Great Britain. *Nature*, 413, 542–548.
- Flensburg, M.F. (2001). Epidemiological evaluation of viral diseases in the Danish broiler chicken production using the example of Infectious Bursal Disease and Newcastle Disease Ph D thesis pp 47-48.
- Freeman, L.C. (1977). A set of measures of centrality based upon betweenness. *Sociometry*, 40, 35–41.
- Frossling, J., Ohlson, A., Bjorkman, C., Hakansson, N. & Noremark, M., (2012). Application of network analysis parameters in risk-based surveillance, examples based on cattle trade data and bovine infections in Sweden. *Prev. Vet. Med.*, 105, 202-208.
- FSANZ (2009). FSANZ draft assessment report 1 on Proposal P301: variation to the Australia New Zealand Food Standards Code. Food Standards Australia New Zealand, Canberra and Wellington.
- Garner, M.G. & Beckett, S.D. (2005). Modelling the spread of foot-and-mouth disease in Australia. *Aust. vet. J.*, 83, 758-766.
- Garner, M.G. & Lack, M.B. (1995). An evaluation of alternate control strategies for foot-and-mouth-disease in Australia, a regional approach. *Prev. Vet. Med.*, 23, 9–32.
- Garner, M.G. & Lack, M.B. (1995 b). Modeling the potential impact of exotic diseases on regional Australia. *Aust. Vet. J.*, 72, 81–87.
- Gauthier-Clerc, M., Eterradosi N., Toquin D., Guietet M., Kuntz G., & Maho Y.L.. (2002). Serological survey of the king penguin, *Aptenodytes patagonicus*, in Crozet Archipelago for antibodies to infectious bursal disease, influenza A and Newcastle disease viruses. *Polar Biol.*, 25, 316–319.
- Geering, W.A., Forman, A.J. & Nunn M.J. (1995). Newcastle disease. In *Exotic Diseases of Animals: a field guide for Australian veterinarians*. Canberra:, Australian Government Publishing Service, 173-81.



- Ghani, A.C. & Garnett, G.P. (2000). Risk of acquiring and transmitting sexually transmitted diseases in sexual partner networks. *Sexually Transmitted Diseases*, 27, 579–587.
- Gibbens, J.C., Sharpe, C.E., Wilesmith, J.W., Mansley, L.M., Michalopoulou, E., Ryan, J.B.M. & Hudson, M. (2001). Descriptive epidemiology of the 2001 foot-and-mouth disease epidemic in Great Britain: the first five months. *Vet. Rec.*, 149, 729-743.
- Gilchrist, P. (2005). Involvement of free-flying wild birds in the spread of the viruses of avian influenza, Newcastle Disease and infectious bursal disease from poultry products to commercial poultry. *World's Poultry Science Journal*, 61, 198-214.
- Glaser, L.C., Barker, I.K., Weseloh, C.D., Ludwig, J., Ronald, M., Windingstad, M., Key, D.W. & Bollinger, T.K. (1999). The 1992 epizootic of Newcastle disease in double-crested cormorants in North America. *Journal of Wildlife Diseases*, 35, 319–330.
- Gordon, R.F., Reid, J. & Asplin, F.D. (1948). Newcastle disease in England and Wales. Official Report of the 8th World's Poultry Congress, 1, 642–650. Copenhagen.
- Gough, R.E. (1973). Thermostability of Newcastle disease virus in liquid whole egg. *The Veterinary Record*, 93, 632-636.
- Grausgruber, W. & Möslinger, A. (1965). Zur verbreitung der Newcastle krankheit durch gefriergeflügel. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 52, 231-236.
- Grausgruber, W. (1972): Newcastle-Krankheit bei Papageien. *Wien. Tierärztl. Mschr.*, 593, 53-356.
- Grausgruber, W. (1973). Nachweis von Newcastle Disease virus in importiertem gefriergeflügel. *Wiener Terarztliche Monatsschrift* 60, 371-373.
- Green, D.M., Gregory, A. & Munro, L.A. (2009). Small- and large-scale network structure of live fish movements in Scotland. *Prev. Vet. Med.*, 91, 261–269.
- Green, D.M., Kiss, I.Z. & Kao, R.R. (2006). Modelling the initial spread of foot and mouth disease through animal movements. *Proc. Biol. Sci.*, 273, 2729–2735.
- Grimes, (2002). A Basic Laboratory Manual for the Small-Scale Production and Testing of I-2 Newcastle Disease Vaccine. FAO-APHCA. FAO Animal Production and Health Commission for Asia and the Pacific (APHCA).
- Halasz, F. (1912). Contributions to the knowledge of fowlpest. In *Veterinary Doctoral Dissertation, Communications of the Hungarian Royal Veterinary School* (pp. 1-36). Patria, Budapest.
- Hamaguchi, M., Nishikawa, K., Toyoda, T., Yoshida, T., Hanaichi, T. & Nagai, Y. (1985). Transcriptive complex of Newcastle disease virus. II. Structural and functional assembly associated with the cytoskeletal framework. *Virology*, 147, 295-308.



- Hamaguchi, M., Yoshida, T., Nishikawa, K., Naruse, H. & Nagai, Y. (1983). Transcriptive complex of Newcastle disease virus. I. Both L and P proteins are required to constitute an active complex. *Virology*, 128, 105-117.
- Hanson, B.A., Swayne, D.E., Senne, D.A., Lobpries, D.S., Hurst, J. & Stallknecht, D.E. (2005). Avian influenza viruses and paramyxoviruses in wintering and resident ducks in Texas. *J. Wildl. Dis.*, 41, 624–628.
- Haruna, E.S., Shamaki, D., Echeonwu, G.O.N., Majiyagbe, K.A., Shuaibu, Y. & Du D.R. (1993). A natural outbreak of Newcastle disease in guinea fowl (*Numida meleagris galeata*) in Nigeria. *Rev. Sci. Tech. of Int. Epiz.*, 12, 887-893.
- Harvey, N., Reeves, A., Schoenbaum, M.A., Zagmutt-Vergara, F.J., Dubé, C., Hill, A.E., Corso, B.A., McNab, W.B., Cartwright, C.I. & Salman, M.D. (2007). The North American Animal Disease Spread Model: a simulation model to assist decision making in evaluating animal disease incursions. *Prev. vet. Med.*, 82, 176-197.
- Heidenreich, M. (1997). *Birds of Prey, Medicine and management*. Blackwell Science, Oxford, England.
- Hietala, S., Kinde, H., Crossley, B.M. & Ardans, A. (2004). Exotic Newcastle disease in California: laboratory response to an animal health emergency. *The Canadian Veterinary Journal. La Revue vétérinaire canadienne*, 45, 1022.
- Hoinville, L.J., Hoek, A., Gravenor, M.B. & McLean, A.R. (2000). Descriptive epidemiology of scrapie in Great Britain: results of a postal survey. *Vet. Rec.*, 146, 455–461.
- Howard, S.C. & Donnelly, C.A. (2000). The importance of immediate destruction in epidemics of foot and mouth disease. *Res. Vet. Sci.*, 69, 189–196.
- Huang, Z., Elankumaran, S., Panda, A. & Samal, S.K. (2003). Recombinant Newcastle disease virus as a vaccine vector. *Poultry Sci.*, 82, 899-906.
- Hugh-Jones, M., Allan, W.H., Dark, F.A. & Harper, G.J. (1973). The evidence for the airborne spread of Newcastle disease. *The Journal of Hygiene*, 71, 325-39.
- Iglesias Martín, I., Martínez Avilés, M., De la Torre Reoyo, A & Sánchez-Vizcaíno Rodríguez JM. (2008 b). Riesgo de entrada de la enfermedad de Newcastle en España a través de columbiformes. *RCCV*, Vol. 2 (2).
- Iglesias, I. (2011). *Modelo de difusión de la Influenza Aviar Altamente Patógena*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Iglesias, I; Martínez, M., Martínez-López, B.; De la Torre, A., Muñoz, M.J & SánchezVizcaíno, J.M. (2008). Análisis probabilístico del riesgo potencial de Entrada y Difusión de Influenza Aviar y enfermedad de Newcastle en España. *Convenio de colaboración ENESA-UCM*. ISBN 978-84-693-0837-0.
- IICA–Senasa, (2010). *Riesgo de introducción de la influenza aviar en la República Argentina: análisis preliminar*. Proyecto de Prevención y Control de la influenza aviar en la Argentina Senasa-IICA-Prosap (BIRF 7425-AR) <http://www.iica.int>.



- Jalvingh A.W., Nielen M., Maurice H., Stegeman A.J., Elbers A.R. & Dijkhuizen A.A. (1999). Spatial and stochastic simulation to evaluate the impact of events and control measures on the 1997-1998 classical swine fever epidemic in the Netherlands. I. Description of simulation model. *Prev. vet. Med.*, 42, 271-295.
- Jenks, G.F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Johnson D.C., Cooper, R.S., & Osborn, J.S. (1974). Velogenic viscerotropic Newcastle disease virus isolated from mice. *Avian Dis.*, 18, 633-634.
- Jørgensen, P.H., Handberg, K.J., Ahrens, P., Hansen, H.C., Manvell, R.J. & Alexander, D.J. (1999). An outbreak of Newcastle disease in free-living pheasants (*Phasianus colchicus*). *Zentralblatt für Veterinärmedizin - Reihe B / Journal of Veterinary Medicine - Series B*, 46, 381-387.
- Jørgensen, P.H., Herczeg, J., Lomniczi, B., Manvell, Ruth J., Holm, E. & Alexander, D.J. (1998). Isolation and characterization of avian paramyxovirus type 1 (Newcastle disease) viruses from a flock of ostriches (*Struthio camelus*) and emus (*Dromaius novaehollandiae*) in Europe with inconsistent serology. *Avian Pathology*, 4, 352 -358.
- Jørgensen, P.H., Manvell, R.J., Holm, E., Andersen, J.S. & Handberg, K.J. (2006). Detection and isolation of avian paramyxovirus serotype 1 from outbreaks of Newcastle Disease in 2002. *The Veterinary Record* 159, 561-62.
- Kaleta, E.F. & Baldauf, C. (1988). Newcastle disease in free-living and pet birds. In Alexander, D.J. (Ed.), *Newcastle disease* (pp. 197-246). Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Kaleta, E.F., Alexander, D.J. & Russell, P.H. (1985). The first isolation of the avian PMV-1 virus responsible for the current panzootic in pigeons?. *Avian Pathology*, 14, 553–557.
- Kaleta, E.F., Löhmer, R., Kummerfeld, N., Marschall, H.J., Stiburek, B. & Glünder, G. (1981). Newcastle-Disease bei einem Weißstorch (*Ciconia ciconia* L., 1758). *Vogelwarte*, 31, 1-6.
- Kao, R.R. (2002). The role of mathematical modelling in the control of the 2001 FMD epidemic in the UK. *Trends in Microbiology*, 10, 279-286.
- Kao, R.R., Danon, L., Green, D.M. & Kiss I.Z. (2006). Demographic structure and pathogen dynamics on the network of livestock movements in Great Britain. *Proc. Roy. Soc. Lond., B, biol. Sci.*, 273, 1999-2007.
- Kao, R.R., Green, D.M., Johnson, J. & Kiss, I.Z. (2007). Disease dynamics over very different time-scales: foot-and-mouth disease and scrapie on the network of livestock movements in the UK. *J. Roy. Soc. Interface*, 4, 907–916.
- Karesh, W.B., Uhart M.M., Frere E., Gandini P., Braselton W.E., Puche H., & Cook R.A. (1999). Health evaluation of free-ranging rockhopper penguins (*Eudyptes chrysocomes*) in Argentina. *J. Zoo Wildl. Med.*, 30, 25–31.



- Keeling, M.J. & Eames K.T.D. (2005). Networks and epidemic models. *J. R. Soc. Interface*, 2, 295-307.
- Keeling, M.J., Danon, L., Vernon, M.C. & House, T.A. (2010). Individual identity and movement networks for disease metapopulations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 107, 8866–8870.
- Keeling, M.J., Woolhouse, M.E.J., Shaw, J.D., Matthews, L., Topping, M.C., Haydon, D.T., Cornell, J.S., Kappey, J., Wilesmith, J., & Grenfell, T.B. (2001). Dynamics of the 2001 UK foot and mouth epidemics: stochastic dispersal in a heterogeneous landscape. *Science*, 294, 813–817.
- Kent, D. & Porter, R. (1996). Exotic Newcastle disease found in pet birds in Missouri. USDA-APHIS.
- Kessler, N., Aymard, M. & Calvet, A. (1979). Study of a new strain of paramyxoviruses isolated from wild ducks: antigenic and biological properties. *J. Gen. Virol.*, 43, 273-282.
- Keymer, I.F. (1958). A survey and review of causes of mortality in British birds and the significance of wild birds as disseminators of disease , part II. *Vet. Rec.*, 70, 736-740.
- Kida, H., Honda, E., Yanagawa, R., Matsuura, Y., Kawaoka, S., Takai, S., Isogai, E. & Ota, C. (1982). Isolation and identification of paramyxoviruses from Japanese buntings (*Emberiza spodocephala*) and ducks (*Anas crecca* and *Anas penelope*). *Jap. J. Vet.*
- Kim, L.M., King, D.J., Curry, P.E., Suarez, D.L., Swayne, D.E., Stallknecht, D.E., Slemons, R.D., Pedersen, J.C., Senne, D.A., Winker, K. & Afonso, C.L. (2007). Phylogenetic diversity among low-virulence newcastle disease viruses from waterfowl and shorebirds and comparison of genotype distributions to those of poultry-origin isolates. *Journal of Virology*, 81, 12641-12653.
- Kimball, J.W. (1990). *Introduction to Immunology*. Macmillan Publishing Company.3, 42-46.
- Kiss, I.Z., Green, D.M. & Kao R.R. (2006). The effect of contact heterogeneity and multiple routes of transmission on final epidemic size. *Math. Biosci.*, 203, 124–136.
- Kiss, I.Z., Green, D.M. & Kao R.R. (2006 b). The network of sheep movements within Great Britain: network properties and their implications for infectious disease spread. *J. R. Soc. Interface*, 3, 669–677.
- Kiss, I.Z., Green, D.M. & Kao, R.R. (2005). Disease contact tracing in random and clustered networks. *Proc. R. Soc.*, 272, 1407–1414.
- Koschützki, D., Lehmann, K.A., Peeters, L., Richter, S., Tenfelde-Podehl, D. & Zlotowski, O. (2005). Centrality Indices, Chapter 3 in Brandes and Erlebach *Network Analysis: Methodological Foundations*, Volume 3418 of LNCS Tutorial, Springer.





- Kouwenhoven, B. (1993). Newcastle disease. In *Virus Infections of Birds*. Editors J.B. McFerran, and M.S. McNulty, 341-61. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Kraneveld, F.C. (1926). A poultry disease in the Dutch East Indies. *Nederlands Indisch Bladen voor Diergeneeskunde*, 38, 448-450.
- Krishnamurthy, S. & Samal, S.K. (1998). Nucleotide sequences of the trailer, nucleocapsid protein gene and intergenic regions of Newcastle disease virus strain Beaudette C and completion of the entire genome sequence. *The Journal of General Virology*, 79, 2419-2424.
- Kuiken, T., Heckert, R.A., Riva, J., Leighton, F.A. & Wobeser, G. (1998). Excretion of pathogenic Newcastle disease virus by double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) in absence of mortality or clinical signs of disease. *Avian Pathology*, 27, 541-546.
- Lalita Rani Barman. An epidemiological and experimental study of Newcastle disease in village chickens of Bangladesh. Department of Veterinary Microbiology and Network for Smallholder Poultry Development. (disponible en: <http://www.smallstock.info/index.htm>).
- Lamb RA, Collins PL, Kolakofsky D, Melero J.A., Nagai Y., Oldstone B.A, Pringle C.R. & Rima K. (2005). Family paramyxoviridae In Fauquet CM, Mayo MA, Maniloff J, Dessel breger U, Ball LA virus Taxonomy, Eighth report of the International committee on Taxonomy of viruses. Elsevier Academic press: San Diego, pp. 655-668.
- Lamb, R.A. & Krug, R.M. (1996). Orthomyxoviruses: the viruses and their replication. *Virology*, 1353-1395.
- Lamelas, K. (2010). Sector avícola. Dirección de Ovinos, Porcinos, Aves de granja y Pequeños Rumiantes. Subsecretaría de Ganadería. Anuario 2010.
- Lancaster, J.E (1977). Newcastle disease-a review of the geographical incidence and epizootiology. *World's Poultry Science Journal*, 33, 155-165.
- Lancaster, J.E. & Alexander, D.J., (1975). Newcastle Disease Virus and Spread. A Review of Some of the Literature. Department of Agriculture, Ottawa, Canada, pp. 79.
- Lancaster, J.E. (1963). Newcastle disease -modes of spread. Part I. *The Veterinary Bulletin*, 33, 221-28.
- Lancaster, J.E. (1966). Newcastle disease-a review 1926-1964. Monograph N° 3, Canada Department of Agriculture, Ottawa.
- Lancaster, J.E. (1987). Enfermedad de Newcastle. En: *Enfermedades víricas de los animales de abasto: Estudio de su epidemiología y control a nivel mundial*. Ed. by E.P.J. Gibbs. Zaragoza, Acribia. p. 115-144.
- León, E.A., Stevenson, M.A., Duffy, S.J., Ledesma, M., & Morris R.S. (2006). A description of cattle movements in two departments of Buenos Aires province, Argentina. *Prev. Vet. Med.*, 76, 109-120.



- Li, X., Chai, T., Wang, Z., Song, C., Cao, H., Liu, J., Zhang, X., Wang, W., Yao, M. & Miao, Z. (2009). Occurrence and transmission of Newcastle disease virus aerosol originating from infected chickens under experimental conditions. *Veterinary Microbiology*, 136, 226–232.
- Liu, H., Wang, Z., Wu, Y., Zheng, D., Sun, C., Bi, D., Zuo, Y. & Xu, T. (2007). Molecular epidemiological analysis of Newcastle disease virus isolated in China in 2005. *J. Virol. Methods*, 140, 206–211.
- Lockhart, C.Y., Stevenson, M.A., Rawdon, T.G. & Gerber, N.P. (2010). French Patterns of contact within the New Zealand poultry industry *Prev. Vet. Med.*, 95, 258–266.
- Lomniczi, B., Wehmann, E., Herczeg, J., Ballagi-Pordány, A., Kaleta, E.F., Werner, O., Meulemans, G., Jorgensen, P.H., Manté, A.P., Gielkens, A.L., Capua, I. & Damoser, J. (1998). Newcastle disease outbreaks in recent years in western Europe were caused by an old (VI) and a novel genotype (VII). *Archives of Virology*, 143, 49-64.
- Lüthgen, W. & Wachendörfer, G., (1970). Newcastle-Disease bei frisch importierten Großpapageien (vorläufige Mitteilung). *Dtsch. Tierärztl. Wschr.*, 77, 407-408.
- MacPherson, L.W. (1956). Some observations on the epizootiology of Newcastle disease. *Canadian Journal of Comparative Medicine*, 20, 155-168.
- MAF, (2001). Import risk analysis: avian paramyxovirus type 1 in hens' hatching eggs Biosecurity Authority. Ministry of Agriculture and Forestry Wellington New Zealand.
- Maharaj, S., McCaldin, T. & Kleczkowski, A. (2011). A Participatory Simulation Model for Studying Attitudes to Infection Risk, in *Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference 2011 (SCSC 2011)*, ACM Digital Library, July 2011.
- Mahul, O. & Durand, B. (2000). Simulated economic consequences of foot-and-mouth disease epidemics and their public control in France. *Prev. Vet. Med.* 47, 23–38.
- Mainar-Jaime, R.C., Thurmond, M.C., Berzal-Herranz, B. & Hietala, S.K. (1999) Seroprevalence of *Neospora caninum* and abortion in dairy cows in northern Spain. *Vet. Rec.*, 145, 72–75.
- Martín, G., Marinescu, M.C., Singh, D.E. & Carretero, J. (2011). Leveraging social networks for understanding the evolution of epidemics. *BMC Systems Biology*, 5 (Suppl 3):S14.
- Martin, P.A.J. (1992). The epidemiology of Newcastle disease in village chickens. In: Spradbrow P.B. Ed., *Newcastle disease in village chickens, control with thermostable oral vaccines*. Canberra, Australia, ACIAR, p. 40-45.
- Martínez-Lopez, B. (2009). Desarrollo de modelos epidemiológicos cuantitativos para el análisis del riesgo de introducción y difusión potencial de los virus de la fiebre aftosa y de la peste porcina clásica en España. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 978-84-692-0207-4.



- Martinez-Lopez, B., Perez, A.M. & Sanchez-Vizcaino, J.M (2009). Social network analysis. Review of general concepts and use in preventive veterinary medicine. *Transbound Emerg. Dis.*, 56, 109–120.
- May, R.M. & Lloyd, A.L. (2001). Infection dynamics on scale-free networks. *Phys. Rev.*, E 64, 066112.1–066112.4.
- Mayo, M.A. (2002). A summary of taxonomic changes recently approved by ICTV. *Archives of Virology*, 147, 1655-1663.
- McDermott, J., Coleman, P., & Randolph, T. (2001). Methods for Assessing the Impact of Infectious Diseases of Livestock. Their Role in Improving the Control of Newcastle Disease in Southern Africa. In: Alders, R. G. and Spradbrow, P. B. ed. *SADC Planning Workshop on Newcastle Disease Control in Village Chickens*.
- McFerran, J.B. (1989). Control of Newcastle disease in Northern Ireland. In *Proceedings Avian Exotic Disease Control Seminar. Animal Health Report 2* (pp. 16-21). NSW Agriculture and Fisheries, Glenfield, NSW, Australia.
- McFerran, J.B., Connor, T.J., Allan, G.M. & Adair, B. (1974). Studies on a paramyxovirus isolated from a finch. *Arch. Ges. Virusforsch.*, 46, 281-290.
- Merville-Tugg, A. (2006). Investigating the spread of disease within a network of cities. *Tesis doctoral. University of Bath*.
- Miller, P.J., Afonso, C.L., Spackma, E., Scott, M.A., Pedersen, J.C., Senne, D.A., Brown, J.D., Fuller, C.M., Uhart, M.M., Karesh, W.B., Brown, I.H., Alexander, D.J. & Swayne, D.E. (2010). Evidence for a new avian paramyxovirus serotype 10 detected in rockhopper penguins from the Falkland Islands. *J. Virol.*, 84, 496-504.
- Miller, W.M. (1976). A state-transition model of epidemic foot-and-mouth disease. In *Proceedings of Symposium New Techniques in Veterinary Epidemiology and Economics*, pp. 56–72. Reading, UK: University of Reading.
- Moreno, R. (1994). La enfermedad de Newcastle y algunos avances recientes de diagnóstico. *Ciencia Veterinaria*, 6, 49-72.
- Morgan, I.R., & Westbury, H.A. (1981). Virological studies of Adelie penguins (*Pygoscelis adeliae*) in Antarctica. *Avian Dis.*, 25, 1019–1026.
- Morgan, I.R., Westbury H.A., Caple I.W., & Campbell J. (1981 b). A survey of virus infection in sub-antarctic penguins on Macquarie Island, Southern Ocean. *Aust. Vet. J.*, 57, 333–335.
- Natale, F., Giovannini, A., Savini, L., Palma, D., Possenti, L., Fiore, G. & Calistri, P. (2009). Network analysis of Italian cattle trade patterns and evaluation of risks for potential disease spread. *Prev. Vet. Med.*, 92, 341–350.
- Nielen M., Jalvingh A.W., Meuwissen M.P., Horst S.H. & Dijkhuizen A.A. (1999). Spatial and stochastic simulation to evaluate the impact of events and control measures on the 1997-1998 classical swine fever epidemic in the Netherlands. II. Comparison of control strategies. *Prev. vet. Med.*, 42, 297-317.



- Niemi, J.K., Lyytikäinen, T., Sahlström, L., Virtanen, T. & Lehtonen, H. (2009). Risk classification in animal disease prevention: who benefits from differentiated policy? In: Selected Paper Prepared for Presentation at the Agricultural and Applied Economics Association 2009 AAE and ACCI Join Annual Meeting , Milwaukee, Wisconsin, p. 28.
- Nolen, R.S. (2002). Exotic Newcastle disease strikes game birds in California. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 221, 1369-1370.
- Nolen, R.S. (2003). Additional commercial flocks in California stricken by Newcastle disease. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 222, 929–930.
- Nöremark, M., Håkansson, N., Lewerin, S.S., Lindberg, A & Jonsson, A. (2011). Network analysis of cattle and pig movements in Sweden: measures relevant for disease control and risk based surveillance. *Prev. Vet. Med.*, 99, 78–90.
- O'Reilly, P.J., McCullough, S., Alexander , D.J., & de Burca, M. (1992). Recent avian paramyxovirus infections on the island of Ireland. *Proceedings of the Commission of the European Communities Meeting on Virus Diseases of Poultry. New and Evolving Pathogens*, Brussels, 15-16 December, 1991 of highly pathogenic Avian Influenza. *The EFSA Journal*, 357, 1-46.
- OIE. (2004). An introduction to quantitative risk analysis. In OIE (Ed.), *Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products*, Volume 2 (pp. 1-10). Paris, France.
- OIE. (2007). Report of a Newcastle disease outbreak in Slovakia. Available online at: [http://www.oie.int/wahis/public.php?page\\_single\\_report&pop\\_1&reportid\\_4704](http://www.oie.int/wahis/public.php?page_single_report&pop_1&reportid_4704) (último acceso 26 junio 2012).
- OIE. (2009). Technical disease cards. Newcastle disease. (Disponible en: [http://www.oie.int/eng/maladies/Technical%20disease%20cards/NEWCASTLE%20DISEASE\\_%20FINAL.pdf](http://www.oie.int/eng/maladies/Technical%20disease%20cards/NEWCASTLE%20DISEASE_%20FINAL.pdf)).
- OIE. (2010). Handistatus II. (Disponible en: <http://www.oie.int/hs2/report.asp?lang=en> (último acceso mayo 2013)).
- OIE. (2010 b). An introduction to quantitative risk analysis. In OIE (Ed.), *Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products*, Volume 1, 2nd edition. Paris, France.
- OIE (2012). *Manual Terrestre de la OIE 2012. Capítulo 2.3.14 Enfermedad de Newcastle* (Disponible en: [http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health\\_standards/tahm/2.03.14\\_Enfermedad\\_Newcastle.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/2.03.14_Enfermedad_Newcastle.pdf)).
- OIE (2012 b). *Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE 2012. Capítulo 10.9. Enfermedad de Newcastle* (Disponible en: [http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health\\_standards/tahc/2010/chapitre\\_1.10.9.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/2010/chapitre_1.10.9.pdf)).
- OIE. (2012 c). *World Animal Health Information Database (WAHID) Interface*. Disponible en: <http://www.oie.int/wahis/public.php?page=home> (último acceso diciembre 2012).



- OIRSA-OIE. (2006). Análisis de Riesgo, guía práctica. (Disponible en: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/GuiaAnalisisRiesgoOIRSAOIE.pdf>).
- Okoye, J.O.A. & Okpe, G.C. (1989) The pathogenicity of an isolate of infectious bursal disease virus in guinea fowls. *Acta Vet. Brno.*, 58, 91-96.
- Olesiuk, O.M. (1951). Influence of environmental factors on viability of Newcastle disease virus. *American Journal of Veterinary Research*, 2, 152-155.
- OMC. (1995). Agreement on the application of sanitary and phytosanitary measures. (Disponible en: [http://www.wto.org/english/docs\\_e/legal\\_e/15-sps.pdf](http://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/15-sps.pdf)).
- Ortiz-Pelaez, A., Pfeiffer, D.U., Soares-Magalhaes, R.J. & Guitian, F.J. (2006). Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in the UK. *Prev. Vet. Med.*, 76, 40–55.
- Ottis, K. & Bachmann, P.A. (1983). Isolation and characterization of ortho- and paramyxoviruses from feral birds in Europe. *Zbl. Vet. Med.*, 30, 22-35.
- Page, C.A. (1958). Antibody response of Canada goose to the NDV. *Avian Dis.*, 2, 365-369.
- Panigrahy, B., Senne, D.A. & Pedersen, J.C. (2002). Avian influenza virus subtypes inside and outside the live bird markets, 1993-2000: a spatial and temporal relationship. *Avian diseases*, 46, 298-307.
- Panigrahy, B., Senne, D.A., Pearson, J.E., Mixson, M.A. & Cassidy, D.R. (1993). Occurrence of velogenic viscerotropic Newcastle disease in pet and exotic birds in 1991. *Avian Diseases*, 37, 254-258.
- Pautasso, M., & Jeger, M.J. (2008). Epidemic threshold and network structure: the interplay of probability of transmission and of persistence in small-size directed networks. *Ecol. Complex.*, 5, 1–8.
- Perez, A.M., Ward, M.P. & Ritacco, V. (2002 b). Simulation-model evaluation of bovine tuberculosis-eradication strategies in Argentine dairy herds. *Prev. Vet. Med.*, 54, 351.
- Perez, A.M., Ward, M.P., Charmandarian, A., & Ritacco, V. (2002). Simulation model of within-herd transmission of bovine tuberculosis in Argentine dairy herds. *Prev. Vet. Med.*, 54, 361.
- Phillips, R.J., Samson, A.C. & Emmerson, P.T. (1998). Nucleotide sequence of the 5'-terminus of Newcastle disease virus and assembly of the complete genomic sequence: agreement with the "rule of six". *Archives of Virology*, 143, 1993-2002.
- Pierson, G. P., & Pflow, C.J. (1975). Newcastle disease surveillance in the United States. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 167, 801–803.
- Pohl, R. (1971). Untersuchungen über die Pathogenität eines aus Papageien isolierten Newcastle-Disease-Virus. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.*, 84, 191-193.



- Porter, R. (1996). Viscerotropic velogenic Newcastle disease outbreak in Missouri. *Ind Anim Dis Diagn Lab Q Newslett* Fall.
- Railsback, S.F., Lytinen, S.L., & Jackson, S.K. (2006). Agent-based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations. *Simulation*, 82, 609-623.
- Reid, J. (1961). The control of Newcastle disease in Great Britain. *British Veterinary Journal*, 117, 275–288.
- Rich, K.M. & Winter-Nelson, A. (2007). An Integrated Epidemiological Economic Analysis of Foot and Mouth Disease: Applications to the Southern Cone of South America. *American Journal of Agricultural Economics* (forthcoming).
- Riley, S. (2007). Large-scale spatial-transmission models of infectious disease. *Science*, 316, 1298-1301.
- Robinson, S.E. & Christley, R.M. (2007). Exploring the role of auction markets in cattle movements within Great Britain. *Prev. Vet. Med.*, 81, 21–37.
- Rosenberger, J.K., Klopp, S. & Krauss, W.C. (1975). Characterization of Newcastle disease viruses isolated from migratory waterfowl in the Atlantic flyway. *Avian Dis.*, 19, 142- 149.
- Roy, P. & Venugopalan, A.T. (2005). Unexpected newcastle disease virus in day old commercial chicks and breeder hen. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 28, 277-285.
- Roy, P., Venugopalan, A.T. & Manvell, R. (2000). Characterization of Newcastle disease viruses isolated from chickens and ducks in Tamilnadu, India. *Vet. Res. Commun.*, 24, 135–142.
- Rvachev, L.A. & Longini, I.M. (1985). A mathematical model for the global spread of influenza. *Math Biosciences*, 75, 3-22.
- Sabidussi, G. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, 31, 581–603.
- Sa'idu, L & Abdu Sokoto P.A. (2008). Outbreak of Viscerotropic Velogenic form of Newcastle disease in vaccinated six weeks old pullets. *Journal of Veterinary Sciences*, 7, 1.
- Samberg, Y., Hadash, D.U., Perelman, B. & Meroz, M. (1989). Newcastle disease in ostriches (*Strutho camelus*): field case and experimental infection. *Avian Pathology*, 18, 221– 226.
- Sánchez-Matamoros A., Martínez-López B., Sánchez-Vizcaíno F. & Sánchez-Vizcaíno J.M. (2012). Social Network Analysis of Equidae Movements and Its Application to Risk-Based Surveillance and to Control of Spread of Potential Equidae Diseases. *Transbound Emerg Dis.*, In Press.
- Sánchez-Vizcaíno, F. (2010). Desarrollo de modelos epidemiológicos para el análisis del riesgo de entrada de los virus de influenza aviar altamente patógena y la enfermedad de Newcastle en España. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.



- Sánchez-Vizcaíno, F., Perez, A., Lainez, M. & Sánchez-Vizcaíno, J.M. (2010). Quantification of the risk for introduction of virulent Newcastle disease virus into Spain through legal trade of live poultry from European Union countries. *Avian Pathology*, 39, 6, 459-465.
- Sanson, R.L. (1993). The development of a decision support system for an animal disease emergency. PhD thesis, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Saramaki, J. & Kaski, K. (2005). Modelling development of epidemics with dynamic small-world networks. *J. Theor. Biol.*, 234, 413–421.
- Scheid, A. & Choppin, P.W. (1974). The hemagglutinating and neuraminidase protein of a paramyxovirus: interaction with neuraminic acid in affinity chromatography. *Virology*, 62, 125-133.
- Schouten, J.M., Bouwknegt, M., van de Giessen, A.W., Frankena, K., De Jong, M.C.M. & Graat, E.A.M. (2004). Prevalence estimation and risk factors for *Escherichia coli* O157 on Dutch dairy farms. *Prev. Vet. Med.*, 64, 49–61.
- Seal, B.S., King, D.J., Locke, D.P., Senne, D.A. & Jackwood, M.W. (1998). Phylogenetic relationships among highly virulent Newcastle disease virus isolates obtained from exotic birds and poultry from 1989 to 1996. *J. Clin. Microbiol.*, 36, 1141-1145.
- Seal, B.S.; Crawford, J.M.; Sellers, H.S.; Locke, D.P. & King, D.J. (2002). Nucleotide sequence analysis of the Newcastle disease virus nucleocapsid protein gene and phylogenetic relationships among the Paramyxoviridae. *Virus Res.*, 83, 119-129.
- Senasa. (2004). Manual de Procedimientos. Enfermedad de Newcastle. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (disponible en [http://www.aviculturaargentina.com.ar/sanidad/manual\\_newcastle.pdf](http://www.aviculturaargentina.com.ar/sanidad/manual_newcastle.pdf)).
- Senasa. (2011). Vigilancia epidemiológica para la influenza aviar y la enfermedad de Newcastle en aves domésticas de la República Argentina (disponible en: [http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File6043-vigilancia\\_2011.pdf](http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File6043-vigilancia_2011.pdf)).
- Senne, D.A., Pearson, J.E., Miller, L.D. & Gustafson, G.A. (1983). Virus isolations from pet birds submitted for importation into the United States. *Avian Dis.*, 27, 731-744.
- Shengqing, Y., Kishida, N., Ito, H., Kida, H., Otsuki, K., Kawaoka, Y. & Ito, T. (2002). Generation of velogenic Newcastle disease viruses from a nonpathogenic waterfowl isolate by passaging in chickens. *Virology*, 301, 206–211.
- Shirley, M.D.F & Rushton, S.P. (2005 b). The impacts of network topology on disease spread. *Ecol. Complex.*, 2, 287–299.
- Shirley, M.D.F., & Rushton, S.P. (2005) Where diseases and networks collide: lessons to be learnt from a study of the 2001 foot-and-mouth epidemic. *Epidemiol. Infect.*, 133, 1023–1032.



- Shortridge, K.F., Alexander, D.J. & Collins, M.S. (1980). Isolation and properties of viruses from poultry in Hong Kong which represent a new (sixth) distinct group of avian paramyxo-viruses. *J. Gen. Virol.*, 49, 255-262.
- Siccardi, F.J. (1966). Effect of vaccination during an outbreak of Newcastle disease on a broiler –breeder chicken farm in Nigeria. *Avian Diseases*, 10, 422-427.
- Silverman, B.W. (1986). Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London, UK.
- Smith, K.M., Karesh, W.B., Majluf, P., Paredes, R., Zavalaga, C., Reul, A.H., Stetter, M., Braselton, W.E., Puche, H. & Cook, R.A. (2008). Health evaluation of free-ranging Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) in Peru. *Avian Dis.*, 52, 130–135.
- Soto E., García J., Ortiz A., Lozano B. & Sarfati D. (2001). Newcastle disease outbreak in spring 2000 in Mexico. 50 th. Western Poultry Diseases Conference, E.U.
- Spickler A.R. & Roth J.A (2008). Iowa State University, College of Veterinary Medicine. <http://www.cfsph.iastate.edu/DiseaseInfo/factsheets.htm> (última actualización julio, 2008).
- Spradbrow, P.B. (1992). Newcastle disease in village chickens. Proc. 39th Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia, 189 pp.
- Stanislawek, W.L., Wilks, C.R., Meers, J., Horner, G.W., Alexander, D.J., Man-vell, R.J., Kattenbelt, J.A. & Gould, A.R. (2002). Avian paramyxoviruses and influenza viruses isolated from mallard ducks (*Anas platyrhynchos*) in New Zealand. *Arch. Virol.*, 147, 1287–1302.
- Stärk, K.D.C., Regula, G., Hernandez, J., Knopf, L., Fuchs, K., Morris, R.S. & Davies, P. (2006). Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: Review of current approaches. *BMC Health Services Research*, 6, 20.
- Stegeman, J.A., Bouma, A. & de Jong, M.C. (2011). Epidemiological models to assist the management of highly pathogenic avian influenza. *Rev Sci Tech.*, 2, 571-9.
- Steward, M., Vipond, I.B., Millar, N.S. & Emmerson, P.T. (1993). RNA editing in Newcastle disease virus. *The Journal of General Virology*, 74, 2539-2547.
- Supramaniam, P. (1988). Economic importance of Newcastle disease Vaccine to village poultry industry in Malaysia. In, Proc. 2nd Asian / Pacific poultry Health conference , Surfer's paradise, Australia. pp. 511-516.
- Sutiono, A.B., Suwa, H. & Ohta, T. (2007). Multi Agent Based Simulation for Typhoid Fever with Complications. Proceedings of the 51st Annual Conference of the International Society for the Systems Sciences, 775-783.
- Swayne, D.E. & Beck, J.R. (2004). Heat inactivation of avian influenza and Newcastle disease viruses in egg products. *Avian Pathology*, 33, 512-518.





- Takakuwa, H., Ito, T., Takada, A., Okazaki, K. & Kida, H. (1998). Potentially virulent Newcastle disease viruses are maintained in migratory waterfowl populations. *The Japanese Journal of Veterinary Research*, 45, 207-215.
- Taylor, N. (2003). Review of the use of models in informing disease control policy development and adjustment. A report for DEFRA. Veterinary Epidemiology and Economics Research Unit (VEERU), School of Agriculture, Policy and Development.
- Taylor, N.M., Honhold, N., Paterson, A.D. & Mansley, L.M. (2004). Risk of foot-and-mouth disease associated with proximity in space and time to infected premises and implications for control policy during the 2001 epidemic in Cumbria. *Vet. Rec.*, 154, 617-626.
- Telbis, C., Neumann, U., Heffels-Redmann, U., Glünder, G., Friederichs, M., Lister, S.A., Alexander, D.J. & Siegmann, O. (1989). Comparative studies on paramyxovirus isolates from wild birds. *J. Vet. Med.*, 36: 279-291.
- Tsai, H.J., Chang, K.H., Tseng, C.H., Frost, K.M., Manvell, R.J. & Alexander, D.J. (2004). Antigenic and genotypical characterization of Newcastle disease viruses isolated in Taiwan between 1969 and 1996. *Veterinary Microbiology*, 104, 19-30.
- Tsutsui, T., Minamib, N., Koiwai, M., Hamaokaa, T., Yamanea, I. & Shimura, K. (2003). A stochastic-modeling evaluation of the foot-and-mouth-disease survey conducted after the outbreak in Miyazaki, Japan in 2000. *Prev. Vet. Med.*, 61, 45-58.
- Tumova, B., Turek, R., Kubinova, I., Stumpa, A. & Ciampor, F. (1984). Incidence of paramyxoviruses in free-living birds in 1978-1982. *Acta Virol. Praha.*, 28, 114-121.
- USDA. (1992). Exotic Newcastle disease emergency disease guidelines. In USDA (Eds.), *Disease characteristics* (pp. 11-18). Hyattsville, MD.
- Utterback, W.W., & J.H. Schwartz. (1973). Epizootiology of velogenic viscerotropic Newcastle disease in southern California, 1971–1973. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 163, 1080–1088.
- Vallée, E., Waret-Szkutaa, A., Chakab, H., Duboza, R., Balchab, M. & Goutarda, F. (2012). Analysis of traditional poultry trader networks to improve risk-based surveillance. *The Veterinary Journal*, 195, 59-65.
- Van Kerkhove, M.D., Vong, S., Guitian, J., Holl, D., Mangtani, P., San, S. & Ghani, A.C. (2009). Poultry movement networks in Cambodia: Implications for surveillance and control of highly pathogenic avian influenza (HPAI/H5N1). *Vaccine* 27, 6345–6352.
- Van Steenwinkel, S., Ribbens, S., Ducheyne, E., Goossens, E. & Dewulf, J. (2011). Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. *Preventive Veterinary Medicine*, 98, 259–270.



- Verwoerd, D.J. (2000). Ostrich diseases. *Revue Scientifique et Technique*, 19, 638-661.
- Vickers, M.L. & Hanson, R.P. (1982). Newcastle disease virus in waterfowl in Wisconsin. *Journal of Wildlife Diseases*, 18, 149-158.
- Villegas, P. (1998). Viral diseases of the respiratory system. *Poult Sci.*, 77, 1143-1145.
- Vindevogel, H., Pastoret, P.P., Thiry, E. & Peeters, N. (1982). Reapparition des formes graves de la maladie de Newcastle chez le pigeon. *Annales de Medecine Veterinaire*, 126, 5-7.
- Wachendörfer, G. & Lühngen, W. (1971). Newcastle-Krankheit bei importierten Psittaciden. *Prakt. Tierarzt*, 52, 612-614.
- Wagener, K (1941). Die Hühnerpest (Geflügelpest) als Kriegstierseuche. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* X, 537-538.
- Wahlstrom, H., Englund, L., Carpenter, T., Emanuelson, U., Engvall, A. & Vagsholm, I. (1998). A Reed-Frost model of the spread of tuberculosis within seven Swedish extensive farmed fallow deer herds. *Prev. Vet. Med.*, 35, 181.
- Wakamatsu, N., King, D.J., Kapczynski, D.R., Seal, B.S. & Brown, C.C. (2006). Experimental pathogenesis for chickens, turkeys, and pigeons of exotic Newcastle disease virus from an outbreak in California during 2002-2003. *Veterinary Pathology*, 43, 925-933.
- Walker, J.W., Heron, B.R. & Mixson, M.A. (1973). Exotic Newcastle disease eradication program in the United States. *Avian Diseases*, 17, 486-503.
- Warner, O. (1989). Newcastle disease (ND). In: Blaha, T. (Ed.) *Applied Veterinary Epidemiology*, pp. 73-76 (Amsterdam, Elsevier).
- Wasserman, S., Faust, K., Lacobucci, D. & Granovetter, M. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications (Structural Analysis in the Social Sciences)*. Cambridge University Press.
- Webb, C.R. & Sauter-Louis, C. (2002). Investigations into the contact structure of the British sheep population. In: *Proceedings of the Society for Veterinary Epidemiology and Preventive Medicine*, Cambridge, pp. 10-20.
- Webb, C.R. (2006). Investigating the potential spread of infectious diseases of sheep via agricultural shows in Great Britain. *Epidemiol Infect.*, 134, 31-40.
- Webb, C.R., (2005). Farm animal networks: unravelling the contact structure of the British sheep population. *Prev. Vet. Med.*, 68, 3-17.
- Weidenmüller, H. & Osthof, F. (1953). Untersuchungen über die atypische Hühnerpest beim Fasan. *Zbl. Vet. Med.*, 1, 105-113.
- Weingartl, H.M., Riva, J. & Kunthekar, P. (2003). Molecular characterization of avian paramyxovirus 1 isolates collected from cormorants in Canada from 1995 to 2000. *J Clin Microbiol.*, 41, 1280-1284.



- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Willeberg, P., Grubbe, T., Weber S., Forde-Folle, K. & Dubé, C. (2011). The World Organisation for Animal Health and epidemiological modelling: background and objectives. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 30, 391-405.
- Williams, J.E. & Dillard, L.H. (1968). Penetration patterns of *Mycoplasma gallisepticum* and Newcastle disease virus through the outer structures of chicken eggs. *Avian Dis.*, 12, 650-657.
- Witten, G. & Poulter, G. (2007). Simulations of infectious diseases on networks. *Comput. Biol. Med.*, 37, 195–205.
- Wittmann, E. J., Mellor, P. S. & Baylis, M. (2001). Using climate data to map the potential distribution of *Culicoides imicola* (Diptera: Ceratopogonidae) in Europe. *Revue Scientifique et Technique Office International des Epizooties*, 3, 731-740.
- Wobeser, G., Leighton, F.A., Norman, R., Myers, D.J., Onderka, D., Pybus, M.J., Neufeld, J.L., Fox, G.A. & Alexander, D.J. (1993). Newcastle disease in wild water birds in western Canada, 1990. *The Canadian Veterinary Journal. La Revue vétérinaire canadienne*, 34, 353-359.
- Woolhouse, M.E.J., Shaw, D.J., Matthews, L., Liu, W.C , Mellor, D.J. & Thomas, M.R. (2005). Epidemiological implications of the contact network structure for cattle farms and the 20-80 rule. *Biol. Lett.*, 1, 350–352.
- Yamane, N., Arikawa, J., Odagiri, T. & Ishida, N. (1982). Characteristics of avian paramyxoviruses isolated from feral ducks in northern Japan: the presence of three distinct viruses in nature. *Microbiol. Immunol.*, 26, 557-568.
- Yoon Kim, B., Dong, H.L., Myeong, S.K., Jun, H.J., Yu, N.L., Jae, K.P., Seong, S.Y., Joong, B.L., Seung, Y.P., In, S.H. & Chang, S.S. (2012). Exchange of Newcastle disease viruses in Korea: The relatedness of isolates between wild birds, live bird markets, poultry farms and neighboring countries. *Infection, Genetics and Evolution*, 12, 478–482.
- Yoon, H., Wee, S.H., Stevenson, M.A., O'Leary, B.D., Morris, R.S., Hwang, I.J., Park, C.K. & Stern, M.W. (2006). Simulation analyses to evaluate alternative control strategies for the 2002 foot-and-mouth disease outbreak in the Republic of Korea. *Prev. Vet. Med.*, 74, 212–225.
- Yu, L., Wang, Z., Jiang, Y., Chang, L. & Kwang, J. (2001). Characterization of newly emerging Newcastle disease virus isolates from the People's Republic of China and Taiwan. *J. Clin. Microbiol.*, 39, 3512–3519.
- Yusoff, K. & Tan, W.S. (2001). Newcastle disease virus: macromolecules and opportunities. *Avian Pathology*, 30, 439-455.
- Zepeda-Sein, C. (2002). Risk analysis: a decision support tool for the control and prevention of animal diseases. In *Proc. 70th General Session of the*

International Committee, World Organisation for Animal Health (OIE), 26–31 May, Paris, Document 70 SG/10. OIE, Paris, 7.





**IX. ANEXOS**



## IX. ANEXOS

### Libros

Martínez-López B., Martínez Avilés M., Iglesias Martín I., Rodríguez-Prieto V., Sánchez-Matamoros A., Fernández Calle L.M, Fernández Salazar M., González Gonzáles Y., Grau Vila A., Marqués Prendes S, Muñoz Reoyo M.J, de la Torre Reoyo A, Linares F., Sánchez-Vizcaíno Buendía F., Perez A, López de Ayala M., Sánchez-Vizcaíno J.M., Mínguez González (2013). Desarrollo de un sistema integral para la mejora de la vigilancia, control y gestión de enfermedades exóticas, emergentes y zoonóticas que afectan al sector ganadero de Castilla y León. ISBN: 978-84-616-3244-2.

Martínez-López Beatriz; Sánchez-Vizcaíno Fernando; Linares Facundo; Rodríguez Víctor; Mur Lina; Vicente Marina; Sánchez Almudena; Martínez Marta; Sánchez-Vizcaíno José Manuel (2011). Análisis de riesgo epidemiológico predictivo (cualitativo) de entrada en España del resto de las enfermedades vectoriales de interés veterinario y su posible inclusión en los seguros ganaderos. ENESA-UCM. Compañía Española de Reprografía y Servicios S.A. I.S.B.N.: 978-84-695-4219-9. Depósito legal: M-26332-2012. Año 2012.

Martínez-López Beatriz; Linares Facundo; Martínez Marta; Mur Lina; Rodriguez Victor; Sánchez-Vizcaíno José Manuel (2010). Evaluación, cuantificación, consecuencias y futuro de la Lengua Azul en España. ENESA-UCM.

Martínez-López Beatriz; Martínez Marta; Linares Facundo; Rodríguez Víctor; Sánchez-Vizcaíno José Manuel (2009). Análisis probabilístico del Riesgo potencial de entrada y difusión de la Fiebre del Nilo Occidental y la Peste Equina Africana (2009). MARM-ENESA-UCM. ISBN: 978-84-693-4923-6.

### Posters

Linares, F., Martínez-López., B., Sánchez Vizcaíno, J.M. (2012). Social network analysis of poultry movements in Argentina during 2009 and 2010. Society for Veterinary Epidemiology and preventive medicine, Annual Meeting 2012. Glasgow, Scotland, 28-30 marzo de 2012.



Linares, F., Martínez-López., B., Sánchez Vizcaíno, J.M. (2012). Analysis of poultry movements in Argentina, 2009-2010. International Society for Veterinary Epidemiology and Economics (ISVEE XIII) Network Maastrich, Netherlands. 20-24 agosto de 2012.

# SOCIAL NETWORK ANALYSIS OF POULTRY MOVEMENTS IN ARGENTINA DURING 2009 AND 2010

Linares, Facundo José <sup>\*</sup>; Martínez-López, Beatriz<sup>\*</sup>; Sánchez-Vizcaíno, José Manuel<sup>\*</sup><sup>\*</sup>VISAVET Center, Animal Health Department, Universidad Complutense de Madrid, Av. Puerta de Hierro s/n. 28040.<sup>\*</sup>facundolinares@sanidadanimal.info

## INTRODUCTION

The poultry production in Argentina is the second largest industry after the cattle, has an average population of 139 million, and is currently the 6th largest exporter of poultry products (1). For that reason, the potential introduction and spread of exotic diseases affecting poultry such as Newcastle disease, Highly Pathogenic Avian Influenza would have severe socio-economic consequences in the country.

Trade is the one of the main transmission routes of infectious diseases and animal movements is one of the most important ways that contagious animal diseases can spread between holdings (2).

In order to allocate surveillance strategies to prevent and rapid control infectious diseases affecting poultry, the characterization of the structure and contact patterns between poultry farms is crucial. However, there are very few studies describing in detail the animal movements between poultry farms and none has explored the contact patterns in Argentina.

The study presented here is aimed to describe in detail the structure and the trade flows among the poultry farms in Argentina using Social Network Analysis (SNA) and graph theory.

## MATERIALS AND METHODS

Data on poultry farms (i.e. census, location, biosecurity, type of production) and poultry movements (i.e. date of movement, species involved, number of birds moved) from January 2009 to December 2010 were obtained from the National Service for Agrifood Health and Quality (SENASA).

The poultry directed network was constructed using poultry farms as nodes and poultry movements between farms as links. SNA metrics were used to describe the poultry metrics in Argentina.

Degree and closeness centrality measures were computed to identify "important" nodes that may be at particular high risk for disease introduction and spread.

Analyses were performed using R Language v2.10.1 with igraph library and network was visualized using Arc GIS 9.3 (ESRI).

Figure 1 : Location of poultry farms of Argentina



Figure 2. Description of the network and centrality measures

| PARAMETER                     | 2009                    | 2010                     |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>NETWORK SIZE</b>           |                         |                          |
| Number of nodes               | 6630                    | 6458                     |
| Number of direct links        | 50374                   | 50566                    |
| <b>MEASURES OF CENTRALITY</b> |                         |                          |
| Median in-degree (range)      | 5 (0-804)               | 5 (0-802)                |
| Median out-degree (range)     | 0 (0-2841)              | 0 (0-2747)               |
| Median in-closeness (range)   | 0.98048 (0.9998-1.0173) | 1.00031 (0.99984-1.0207) |
| Median out-closeness (range)  | 0.98002 (0.9998-1.7503) | 0.99984 (0.99984-1.5590) |

Figure 5. Frequency histogram, distribution of the number of movements (km), live birds to poultry farms to poultry farms in Argentina 2009 and 2010

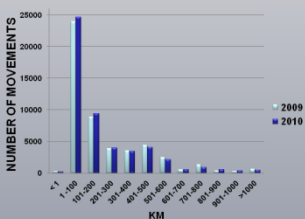


Figure 3. Complete network of poultry movements, farm-to-farm, in Argentina during 2009 and 2010

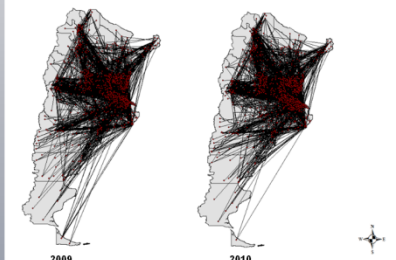
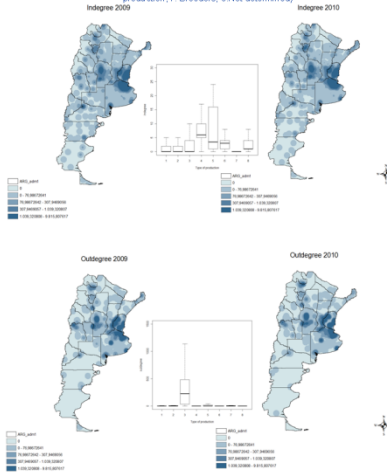


Figure 4. Degree and outdegree 2009 and 2010 by type of production (1 Others productions, 2 Backyard poultry, 3 Hatchery, 4 Meat production, 5 Meat and egg production, 6 Egg production, 7 Breeders, 8 Not determined)



## RESULTS

The poultry contact network was compounded by 6,330 nodes with 50,374 links for 2009 and, 6,458 nodes with 50,566 links for 2010 (Fig. 2,3 ).

The provinces with the highest number of outbound (out-degree) and inbound (in-degree) movements were Entre Ríos and Buenos Aires, these two provinces account for 70 percent of total movements during 2009 and 2010 (Fig. 4 ).

In 2009 the average of farm to farm movement distance was 210 km (range less than 1 to 2,844), and in 2010 the average was 198 km (range less than 1 to 2,577). During 2009 the distance covered by 50%, 75% of the movements traveled was 107 and 331 km, during 2010 was 104 and 292 km (Fig. 5 ).

Nodes with the highest number of outgoing and ingoing movements corresponded to a hatchery and meat production farm respectively (Fig. 4)

The ten vertices with the highest input and output degree in the farm-to-farm poultry network account for 7,6 % and 31 % of the total number of incoming and outgoing shipments, respectively for 2009 and 5,6 % and 31,4 % for 2010.

## CONCLUSION

This is one of the very first studies characterizing the poultry movements and identifying poultry farms, periods and regions at highest risk for potential disease introduction and/or spread.

Network analysis allows to better characterize and evaluate contact patterns of poultry farms in Argentina.

The study presented here provides essential information that may be incorporated into disease spread simulation models to quantify sanitary and economic consequences of potential epidemic in the country or used to design risk-based surveillance strategies and contingency plans of diseases affecting poultry in Argentina.

## REFERENCES

1. IICA-SENASA, 2010. Riesgo de introducción de la influenza aviar en la República Argentina: análisis preliminar. Proyecto de Prevención y Control de la influenza aviar en la Argentina Senasa-IICA-Prosap (BIRF 7425-AR).
2. Kao, R.R., 2002. The role of mathematical modelling in the control of the 2001 FMD epidemic in the UK. Trends Microbiol. 10, 279-286.

## ACKNOWLEDGMENTS

Linares, F. has a scholarship from the Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). We acknowledge staff from The National Service for Agrifood Health and Quality (SENASA) provision of data.

## NETWORK ANALYSIS OF POULTRY MOVEMENTS IN ARGENTINA, 2009-2010



Linares, Facundo José <sup>a,\*</sup>; Martínez-López, Beatriz <sup>a,b</sup>; Sánchez-Vizcaino, José Manuel <sup>a</sup>

<sup>a</sup> VISAVET Center, Animal Health Department. Universidad Complutense de Madrid. Av. Puerta de Hierro s/n. 28040.

<sup>b</sup> Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos -IREC (CSIC-UCLM-JCCM). Ronda de Toledo s.n. 13005, Ciudad Real.

\* [facundolinares@sanidadanimal.info](mailto:facundolinares@sanidadanimal.info)



### INTRODUCTION

The poultry production in Argentina is the second largest industry after the cattle. For that reason, the entry and establishment of infectious diseases such as Newcastle disease, highly pathogenic avian Influenza and other exotic avian diseases would have severe consequences for the Argentinean poultry industry.

Movement of live animals is the main transmission route of infectious diseases (1). As a consequence, the evaluation of animal movements networks is key important for predicting and controlling the spread of infection diseases (2).

There are very few studies describing in detail the animal movement contacts between poultry farms and none has been developed in Argentina.

The study presented here is aimed to characterize the network of live poultry movements in Argentina and describe in detail the structure and the trade flows among the poultry farms in Argentina.

### MATERIALS AND METHODS

Information of the number of poultry movements (date of movement, species involved, number of birds moved, etc) and geographical location of the premises of origin and destination of all movements in Argentina from January 1<sup>st</sup> 2009 to December 31<sup>st</sup> 2010 were obtained from the National Service for Agrifood Health and Quality (SENASA).

The poultry directed network was constructed using poultry farms as nodes and poultry movements between farms as links. Centrality measures and other Social Network Analysis metrics were computed and compared between provinces in Argentina to identify "important" nodes. Movements towards slaughterhouses were excluded from the calculation of the centrality measures because of the negligible role in terms of disease spread.

Analyses were performed using R Language v2.10.1 with igraph library and network was visualized using ArcGIS 9.3 (ESRI).

### RESULTS

Direct networks of live bird's movements during 2009 and 2010 in Argentina were developed. The poultry contact network was compounded by 6.330 nodes (farms) with 50.374 links (movements) for 2009 and, 6.458 nodes with 50.566 links for 2010.

The total number of birds moved in 2009 was 856.135.294 and during 2010 was 795.255.405. No temporal variations were observed throughout the years (Figure 1).

In general it is noted that the outgoing movements are more concentrated than the incoming movements, there are few nodes (farms) performing outgoing movements and many incoming movements. (Figure 2).

For both years a high percentage (84%) of farms that do not carry outgoing movements and a low percentage (9%) of farms that do not perform incoming movements. Most farms (90%) had between 1 to 100 entries (Figure 3).

The highest percentage of the total nodes correspond to Entre Rios and Buenos Aires province (Table 1). The provinces with the highest number of outgoing (outdegree) and incoming (indegree) movements were Entre Rios and Buenos Aires (Figure 4).

In figure 5 are representing the ten vertices with the highest input and output degree.

Figure 1. Number of birds moved between poultry farms by month in 2009 and 2010



Figure 2. Scatter plots of indegree and outdegree in poultry farms in 2009 (a) and 2010 (b)

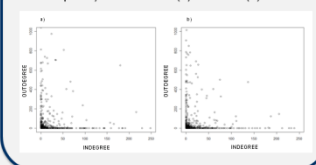


Figure 3. Frequency histograms showing the distribution of indegree and outdegree during 2009 and 2010

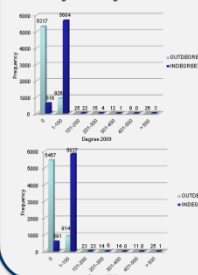


Figure 5. Subnetworks of the ten vertices with the highest input and output degree of the total network in Argentina during 2009 and 2010

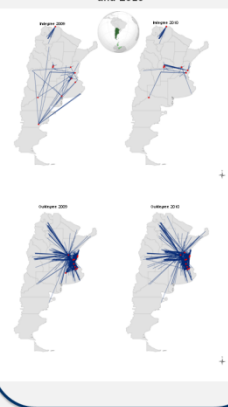
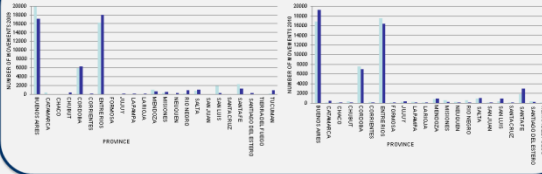


Table 1. Number of nodes in 2009 and 2010 in Argentina per province

| PROVINCE            | NUMBER OF NODES |      |
|---------------------|-----------------|------|
|                     | 2009            | 2010 |
| ENTRE RIOS          | 2612            | 2601 |
| BUENOS AIRES        | 2146            | 2074 |
| CORDOBA             | 455             | 548  |
| SANTA FE            | 298             | 378  |
| MENDOZA             | 130             | 143  |
| SALTA               | 90              | 77   |
| TUCUMAN             | 71              | 104  |
| SANTIAGO DEL ESTERO | 57              | 55   |
| RIO NEGRO           | 54              | 58   |
| MISSIONES           | 48              | 51   |
| CHUBUT              | 47              | 38   |
| SAN LUIS            | 46              | 42   |
| NEUQUEN             | 44              | 39   |
| CORRIENTES          | 43              | 45   |
| LAPAMPA             | 31              | 37   |
| JUJUY               | 30              | 29   |
| SAN JUAN            | 30              | 41   |
| CHACO               | 28              | 33   |
| SANTA CRUZ          | 17              | 12   |
| FORMOSA             | 16              | 18   |
| CATAMARCA           | 15              | 16   |
| LARIOJA             | 15              | 17   |
| TIERRA DEL FUEGO    | 7               | 2    |
| TOTAL               | 6330            | 6458 |

Figure 4. Indegree (grey) and outdegree (blue) of the total network in Argentina during 2009 and 2010.



### CONCLUSION

This is one of the very first studies characterizing the poultry movements and identifying poultry farms, periods and regions at highest risk for potential disease introduction and/or spread using official data provided by the National Service for Agrifood Health and Quality (SENASA).

This study of poultry movements will be useful for the design of risk-based surveillance strategies and contingency planning of diseases affecting poultry. It also provides essential information to include in computer models to simulate the potential disease spread and epidemic size of potential epidemics in the country.

### REFERENCES

- Ortiz-Pelaez, A., Pfeiffer, D.U., Soares-Magalhaes, R.J., Guitian, F.J., 2006. Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in the UK. Prev. Vet. Med. 76, 40-55.
- Volkova, V.V., R. Howey, H.J. Savill, and H.E.J. Woolhouse, 2010. Sheep movement networks and the transmission of infectious diseases. PLoS ONE 5, e11185.

### ACKNOWLEDGMENTS

Linares, F. has a scholarship from the Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). We acknowledge staff from the National Service for Agrifood Health and Quality (SENASA) provision of data.

